

Obstakels in de uitvoerbaarheid van CO₂-reductieplannen



Van Hattum en Blankevoort



DURA VERMEER

Waar maken van ambities



Strukton

GMB

Ervaar de zekerheid



heijmans

Marc Hubers 532637
Maurice Franken 483877

Datum: 23 mei 2017
Versie: 0.4

COLOFON

Project	Afstudeeronderzoek	
Titel	Obstakels in de uitvoerbaarheid van CO ₂ -reductieplannen	
Onderwerp	Het verschil tussen de berekende en werkelijke CO ₂ -uitstoot van beton bij infrastructurele projecten.	
Type document	Hoofdrapportage	
Betrokken Bedrijven	Dura Vermeer GMB Heijmans Strukton Van Hattum en Blankevoort	
Onderwijsinstelling	Hogeschool van Arnhem en Nijmegen	
Opleiding	Bachelor Civiele Techniek	
Afstudeerrichting	Constructie, Infra	
Afstudeerders	Maurice Franken mf_1991@hotmail.com Diepvoorde 1708 6605 ET Wijchen 06 10 10 21 67	Marc Hubers marchubers@gmail.com Nederwoudseweg 80 3772 TE Barneveld 06 11 94 81 43
Afstudeerbegeleiding (School)	Ludolf Schouten Ludolf.Schouten@han.nl Ruitenberglaan 26 (flex) 6826 CC Arnhem 06 55 43 40 61	Jan van Vuuren JP.vanVuuren@han.nl Ruitenberglaan 26 (kmr. F0.10) 6826 CC Arnhem 06 55 20 87 49
Afstudeerlocatie (Bedrijf)	GMB Dalwagenseweg 51 4043 MT, Opheusden www.gmb.eu 088 88 54 000	
Afstudeerbegeleiding (Bedrijf)	Robin van Dijk Robinvandijk@gmb.eu Dalwagenseweg 51 4043 MT, Opheusden 06 57 99 72 31	
Auteurs	Maurice Franken & Marc Hubers	
Versienummer	0.4	
Datum	dinsdag 23 mei 2017	

Afbeeldingen en figuren waarbij geen bron is vermeld komen voort uit eigen werk of zijn niet aan auteursrechten gebonden.

VERSIEOVERZICHT

Tabel 1
Versieoverzicht

Versie	Omschrijving	Datum
0.1	Eerste concept	13-04-2017
0.2	Tweede concept	05-05-2017
0.3	Derde concept	10-05-2017
0.4	Vierde concept	23-05-2017

VOORWOORD

In dit afstudeeronderzoek is het verschil tussen de berekende en werkelijke CO₂-uitstoot van betonmortel bij infrastructurele projecten onderzocht. Deze rapportage is een adviesrapport naar de opdrachtgevers, maar kan ook gelezen worden door geïnteresseerden die affiniteit hebben met techniek en duurzaamheid. Met deze rapportage laten wij zien dat wij voldoen aan het niveau van een beginnend hbo-civiel ingenieur.

Om ons onderzoek goed uit te kunnen voeren hebben wij met de betrokken aannemers een overeenkomst opgesteld waarin vermeld staat dat wij discreet omgaan met de bedrijfsinformatie die aan ons is verstrekt. Als gevolg van deze afspraak hebben wij besloten om de hoofdrapportage die voor u ligt zo samen te stellen dat hierin geen (bedrijfs)gevoelige informatie te vinden is. De strekking, bevindingen en conclusies van het onderzoek geven een projectonafhankelijk antwoord op de onderzoeksvragen. Niet-openbare bijlagen bevatten projectafhankelijke informatie die ter beoordeling van het onderzoek is uitgewerkt.

Wij willen de aannemers Dura Vermeer, GMB, Heijmans, Strukton en Van Hattum en Blankevoort bedanken dat zij ons afstudeeronderzoek mede mogelijk hebben gemaakt. De contactpersonen van de genoemde aannemers Theo Baggerman (*Dura Vermeer*), Robin van Dijk (*GMB*), Stefan Daamen (*Heijmans*), Harry Hofman (*Strukton*), Hans Berkien en Eelco van der Weij (*Van Hattum en Blankevoort*) hebben ons voorzien van projectinformatie, contacten, kennis en feedback op onze werkzaamheden. Wij zijn hen hier zeer dankbaar voor. GMB heeft ons voorzien van een werkplek, waarvoor dank.

De docentenbegeleiders van de onderwijsinstelling, Ludolf Schouten en Jan van Vuuren, willen wij bedanken voor de begeleiding op het niveau van het afstudeeronderzoek en de input van verbetermogelijkheden.

Tot slot willen wij brancheorganisatie VOBN bedanken dat wij gebruik hebben mogen maken van de 'CUR-Ontwerptool Groen Beton' om de CO₂-impact van beton door te kunnen rekenen.

Wij wensen u tijdens het lezen van ons onderzoeksverslag veel inspiratie en leesplezier toe,

Maurice Franken & Marc Hubers

SAMENVATTING

De opwarming van de aarde wordt mede veroorzaakt door het broeikasgas CO₂. Afspraken voor CO₂-reductie moeten leiden tot beperking van de klimaatverandering. De betonindustrie levert een grote bijdrage aan de CO₂-uitstoot. Opdrachtgevers leggen aannemers duurzaamheidseisen op bij CO₂ gegunde projecten. De aannemer geeft hier invulling aan door CO₂-reductiedoelstellingen en -maatregelen in een CO₂-Projectplan vast te leggen. Plannen blijven plannen indien deze niet worden uitgevoerd. In dit onderzoek is gepoogd antwoord te krijgen op de volgende vraag: *“In hoeverre worden de CO₂-reductieplannen m.b.t. betonmortel uit de tender-/ontwerpfase daadwerkelijk uitgevoerd, en welke maatregelen kunnen de knelpunten aanpakken?”*.

Het onderzoek is uitgevoerd in het kader van het afstuderen. Diverse aannemers die het ketenconvenant 'Beton Bewust' hebben ondertekend zijn betrokken bij het onderzoek. De studenten hebben de onderzoeksvragen beantwoord aan de hand van bestaande infrastructurele projecten, die hebben gefungeerd als voorbeeldprojecten. Interviews bij betonleveranciers en de betrokken aannemers hebben gediend als probleemanalyse. De informatie uit een literatuurstudie naar de huidige situatie/ontwikkelingen van het onderzoeksgebied, interviews met betrokkenen van de voorbeeldprojecten en het verzamelen en bestuderen van informatie uit de voorbeeldprojecten hebben geleid tot maatregelen en aanbevelingen die direct toepasbaar zijn in de praktijk.

Het onderzoek is geschreven voor een aantal aannemers die het ketenconvenant 'Beton Bewust' hebben ondertekend. Maar kan ook gelezen worden door geïnteresseerden die affiniteit hebben met techniek en duurzaamheid. Vanwege de project- en bedrijfsgevoelige informatie uit de voorbeeldprojecten is ervoor gekozen om in het hoofdrapport geen verwijzingen naar projecten of bedrijven te vermelden. Onderwerpen waarbij meer uitleg is benodigd zijn verwerkt in niet-openbare bijlagen.

De CO₂-reductieplannen uit het CO₂-Projectplan m.b.t. betonmortel zijn onderzocht. Verschillen en bevindingen zijn volgens de beschreven onderzoeksmethodiek in kaart gebracht. Daarnaast is er gekeken naar de CO₂-footprint van de betonmortels volgens het ontwerp en de werkelijke CO₂-uitstoot op basis van de aangebrachte betonmortel door de betonmortelleverancier. Verwachtingen waren: het zichtbaar maken van de verschillen, het bepalen van de knelpunten en het opstellen van maatregelen.

Verschillen en knelpunten zijn ontstaan na onderzoek van de CO₂-reductieplannen in het CO₂-Projectplan. De verschillen en knelpunten zijn onder te verdelen in technische aspecten en het gebrek aan concrete plannen in het CO₂-Projectplan. Anderzijds was de verwachting om een specifieke vergelijking te maken tussen de CO₂-footprint uit de ontwerpfase en de werkelijke CO₂-uitstoot van het aangebrachte beton. De betonleverancier heeft geen mengselspecifieke CO₂-uitstoot van beton aan kunnen leveren, waardoor de vergelijking niet gemaakt kon worden. Daarentegen heeft dit onderdeel onverwachte verschillen en knelpunten aan het licht gebracht.

Als resultaat van de in kaart gebrachte verschillen en knelpunten zijn maatregelen opgesteld die moeten leiden tot een kwalitatief beter CO₂-Projectplan, het beter benutten van doelstellingen en maatregelen t.b.v. CO₂-reductie, het mogelijk maken van een specifieke vergelijking tussen de begrote en werkelijke CO₂-uitstoot van betonmortel en toename van bewustwording van de CO₂-problematiek.

Het betrekken van het ontwerp en planning bij het bepalen van de CO₂-footprint in het CO₂-Projectplan door de aannemer is een van de aanbevelingen. Op die manier ontstaat periodiek een verschil in de begrote CO₂-footprint en wordt het toetsbaar. Hierdoor kan er beter gestuurd worden op de CO₂-uitstoot. Aanvullend is het advies om vanuit het ketenconvenant 'Beton Bewust' een vaste termijn vast te stellen aan het aanleveren van de mengselspecifieke CO₂-footprint door de betonmortelleverancier. Advies aan de aannemer is om de ontkistingstijd vast te zetten op de planning en daarnaast de haalbaarheid van het verlengen van de 28-daagse eindsterkte in het beginstadium van een project te onderzoeken. Een expert op het gebied van betontechnologie kan samen met de uitvoerende kant de haalbaarheid peilen.

Een ander belangrijk punt is dat de interactie tussen de aannemer en betonmortelleverancier duidelijk en consequent plaatsvindt. De vraag vanuit de aannemer moet helder gesteld worden. Dit is op te nemen in een contract tussen de aannemer en de betonmortelleverancier.

SUMMARY

Global warming is partly caused by the greenhouse gas CO₂ (*carbon dioxide*). Agreements for carbon reduction should lead to limit climate change. The concrete industry is a large producer of carbon dioxide. Clients make requirements on sustainability for the contractor for carbon awarded contracts. The contractor fulfils the requirements by documenting reduction targets and -measures in a project plan for carbon reduction. Plans will remain plans if they are not executed. In this research, an attempt has been made to answer the following research question: "To what extent are the plans for carbon reduction regarding concrete mortar from the tender-/design phase actually executed, and which measures can fix the bottlenecks?".

This research is performed in the context of graduation. Various contractors, who have signed a covenant for sustainability of concrete in the sector, are involved in this research. The students have answered the research questions on the base of existing infrastructural projects, which have served as an example. The problem analysis is made by taking interviews from concrete suppliers and the contractors involved. Preliminary a literature review has given answer on the current situation and developments of the research subject. The collected data from the literature review, interviews with involved employees of the project examples and study of information from the project examples have resulted in measures and recommendations. They are directly applicable in practise.

This research has been written for a number of contractors, who have signed a covenant for sustainability of concrete in the sector. It can also be read by people who have affinity with technology and sustainability. There is chosen to record no references of projects or companies in the main reportage, due to confidential information from the project examples. Topics requiring more explanation are processed in confidential attachments.

The plans for carbon reduction from the project regarding concrete mortar have been investigated. Differences and findings have been mapped according to the research methodology described. In addition, the carbon footprint of the concrete mortar according to the design and actual emissions have been viewed on the base of concrete mortar delivered by the supplier. Expectations were: making the differences visible, determining bottlenecks and setting measures.

Differences and bottlenecks have arisen after research of the plans for carbon reduction. They can be divided into technical aspects and the lack of specific plans in the plan for carbon reduction. On the other hand, the expectation was to make a specific comparison between the carbon footprint of the design and actual carbon emission of the poured concrete. The supplier of concrete mortar has not been able to deliver mixture-specific carbon emission of concrete mortar, which made a comparison impossible. However, this finding has shown unexpected differences and bottlenecks.

Measures have been made as a result of the mapped differences and bottlenecks. Measures should lead to a more qualitative plan for carbon reduction, better utilization of targets and measures for carbon reduction, enabling a specific comparison between the carbon footprint of the design and actual carbon emission of the poured concrete, and increasing awareness of the carbon problem.

One of the recommendations is to involve the design and planning in determining the carbon footprint in the plan for carbon reduction by the contractor. This shows a difference in the calculated carbon footprint periodically and makes it testable. This allows better control of carbon emissions. Additional, it is advisable to set a fixed term to deliver mixture-specific carbon emission of concrete mortar by the supplier. This can be recorded in the covenant for sustainability of concrete in the sector. Advice to the contractor is to fix the time of formwork removal on the planning, and to investigate the feasibility of extending the concrete compressive strength after 28 days in the initial stage of a project. An expert in concrete technology can measure feasibility with the executive side.

Another important issue is that the interaction between the contractor and the concrete mortar supplier should be clear and consistent. The contractor must be clarify the demand. This can be include in a contract between the contractor and the concrete mortar supplier.

INHOUDSOPGAVE

Colofon.....	3
Versieoverzicht.....	4
Voorwoord.....	5
Samenvatting.....	6
Summary.....	7
Inhoudsopgave.....	8
1. Inleiding	10
1.1 Aanleiding en achtergronden	10
1.2 Probleem- en vraagstelling.....	10
1.3 Doelstelling.....	10
1.4 Aanpak	11
1.5 Leeswijzer.....	12
1.6 Begrippenlijst.....	13
2. Projectgrenzen	15
3. Totstandkoming resultaten	16
3.1 Projectkeuze	16
3.2 Proces	16
3.3 Onderzoeksmethodiek.....	16
4. Achtergrondinformatie	17
4.1 Betonketen	17
4.2 Definitie CO ₂ -uitstoot betonmortel	18
5. Deelvraag I: Specificaties	20
5.1 CO ₂ -reductiemaatregelen	20
5.2 CO ₂ -uitstoot betonmortel	21
5.2.1 Tender-/ontwerpfase	21
5.2.2 Uitvoeringsfase	22
6. Deelvraag II en III: Verschillen en knelpunten	23
6.1 Geen plannen, wel maatregelen.....	23
6.2 Milieueffect van de ontkistingstijd	24
6.3 Verlengen van 28-daagse sterkte.....	25
6.4 CO ₂ -Projectplan concreet maken	25
6.5 Negatieve effecten op CO ₂ -uitstoot	26
6.6 Iedereen moet meebetalen tenzij het direct geld oplevert.....	26
6.7 De verschillen in CO ₂ -uitstoot van betonmortels in de tender-/ontwerpfase en de uitvoeringsfase.....	26
6.7.1 Aannemer heeft geen zicht op betonmortelsamenstellingen	27
6.7.2 Betonmortelleverancier levert geen CO ₂ -footprint.....	27
6.7.3 Geen goede vergelijking CO ₂ -uitstoot mogelijk.....	28
6.7.4 CO ₂ -uitstoot zoals bedacht in de tender-/ontwerpfase.....	29

7.	Deelvraag IV: Maatregelen.....	30
7.1	Ambitieuze duurzaamheidseisen	30
7.2	SMART formuleren CO ₂ -projectplan	30
7.3	Versnellen ontkistingstijd niet bespreekbaar maken	30
7.4	Expert met betontechnologische kennis raadplegen.....	30
7.5	Bewustwording creëren.....	31
7.6	Haalbaarheid verlengen 28-daagse sterkte toetsen in beginstadium	31
7.7	Deadline stellen aan verstrekken CO ₂ -footprint door betonleverancier	31
7.8	CO ₂ verhogende activiteiten eisen in CO ₂ -Projectplan	31
7.9	Sectorbreed plannen opstellen	31
7.10	Interactie verbeteren tussen de aannemer en de betonmortelleverancier	32
7.11	Eenduidigheid over rekentool.....	32
7.12	Planning en ontwerp betrekken bij raming CO ₂ -footprint	32
8.	Conclusie & aanbeveling	33
9.	Discussie	34
10.	Bronnenlijst.....	35
11.	Bijlagen.....	37

1. INLEIDING

1.1 AANLEIDING EN ACHTERGRONDEN

CO₂ is de grootste veroorzaker van de opwarming van de aarde. Sinds de industriële revolutie is de uitstoot van dit broeikasgas exponentieel toegenomen. Klimaatverandering wordt steeds meer zichtbaar, waardoor mens en natuur worden bedreigd. Afspraken voor terugdringing van de CO₂-uitstoot moeten er toe leiden dat de mondiale opwarming beperkt blijft. Tot dusverre zijn fossiele brandstoffen nog altijd het meest gebruikte middel om de industrie draaiende te houden en de bevolking te voorzien van een warm onderkomen.

De cementindustrie draagt voor een groot deel bij aan de CO₂-uitstoot binnen de bouwsector. Bij de productie van beton is cement de bepalende factor hoe 'groen' het betonnen eindproduct is. Tijdens de aanbestedingsfase kunnen eisen worden gesteld aan duurzaamheid en CO₂. Aannemers die zich in willen schrijven op het project moeten een plan opstellen, waarin o.a. CO₂-reductie wordt uitgewerkt. De aannemer met het beste plan krijgt de grootste fictieve korting op de inschrijfsom. De plannen omtrent CO₂-reductie en duurzaamheid die in de tenderfase zijn opgesteld worden in de ontwerpfase verder uitgewerkt. Uit navraag bij aannemers en betonproducenten blijkt dat de plannen tijdens de bouwfase niet altijd worden uitgevoerd. Dit is de aanleiding voor het onderzoek. Met het onderzoek wordt bekeken of de CO₂-reductieplannen m.b.t. betonmortel in de tender-/ontwerpfase realistisch zijn voor de uitvoering en of ze daadwerkelijk worden toegepast. Twee bestaande projecten dienen als onderzoeksobject en geven antwoord op de onderzoeksvragen.

Het onderzoek wordt uitgevoerd in samenwerking met verschillende aannemers die het ketenconvenant '*Beton Bewust*' hebben ondertekend. De aannemers nemen het reduceren van hun CO₂-uitstoot erg serieus gezien het feit dat ze zich allen op de hoogste trede van de CO₂-Prestatieladder bevinden. Zij spraken hun behoefte uit naar een onderzoek en mogelijke CO₂-reductiemaatregelen in de betonketen. De aannemers hebben projecten aangedragen, waaruit de twee meest kansrijke projecten voor het onderzoek zijn uitgekozen. Aan de hand van de specificaties van het betonontwerp en de CO₂-reductieplannen wordt onderzocht of de plannen uit de ontwerpfase daadwerkelijk worden uitgevoerd en of er gevolgen zijn voor de CO₂-uitstoot.

1.2 PROBLEEM- EN VRAAGSTELLING

In steeds meer bouwprojecten worden van tevoren afspraken gemaakt over hoe om te gaan met duurzaamheidsaspecten. Mede hierdoor komt duurzaamheid en CO₂-reductie steeds hoger op de agenda te staan van opdrachtgevers en aannemers. Bij opdrachtgevers is te zien dat zij steeds vaker duurzaamheidseisen stellen. (Bouwend Nederland, 2015) Aannemers spelen hierop in door plannen en ontwerpen zo op te stellen dat zij voldoen aan de vraag en de eisen. Na gunning worden de plannen verder uitgewerkt en vindt de uitvoering plaats. De vraag is of de plannen daadwerkelijk worden uitgevoerd zoals ze in de planfase zijn opgesteld.

1.3 DOELSTELLING

Het doel van dit onderzoek is om, aan de hand van bestaande civieltechnische projecten, de knelpunten die zich voordoen tussen de tender-/ontwerpfase en uitvoeringsfase qua CO₂-reductieplannen m.b.t. betonmortel in beeld te brengen, en maatregelen hiervoor op te stellen. Daaruit volgen adviezen en aanbevelingen.

Dit doel wordt verwezenlijkt door antwoord te geven op de volgende onderzoeksvragen:

HOOFDVRAAG

In hoeverre worden de CO₂-reductieplannen m.b.t. betonmortel uit de tender-/ontwerpfase daadwerkelijk uitgevoerd, en welke maatregelen kunnen de knelpunten aanpakken?

DEELVRAGEN

- I. Wat zijn de specificaties van de toegepaste betonmortels in de voorbeeldprojecten, en op welke plaats in de betonketen vindt de meeste CO₂-uitstoot plaats kijkende naar de tender-/ontwerpfase en de uitvoeringsfase?
- II. Welke verschillen zijn er op te merken tussen de CO₂-reductiemaatregelen in de tender-/ontwerpfase en de uitvoeringsfase?
- III. Hoe groot zijn de verschillen en wat zijn de knelpunten die er toe leiden dat de CO₂-reductiemaatregelen niet volledig worden uitgevoerd?
- IV. Welke maatregelen kunnen ervoor zorgen dat de CO₂-uitstoot in de uitvoeringsfase overeenkomt met of lager uitvalt dan in de tender-/ontwerpfase is berekend?

1.4 AANPAK

Het onderzoek is onderverdeeld in vijf fases. Deze fases zijn in Tabel 2 weergegeven. Allereerst is een Plan van Aanpak opgesteld, waarin o.a. de probleemstelling, vraagstelling, werkwijze, planning, risico's en kwaliteitsbeheer zijn gedefinieerd en behandeld. In de verkenningsfase zijn gesprekken gevoerd met de betrokken aannemers en met betonmortelleveranciers. De uitkomst hiervan is gebruikt als controleproces van het Plan van Aanpak en om de vraagstelling helder te krijgen. Daarnaast is een aanvullende literatuurstudie naar *'het toepassen van alternatieve- en gerecyclede materialen in beton'* opgesteld. De derde fase bestaat uit het hoofdonderzoek, waarin antwoord is gegeven op de vraagstelling. Op basis van de knelpunten en maatregelen is een conclusie en aanbeveling geformuleerd, dit is de vierde fase. De laatste fase bestaat uit het mondeling toelichten van het onderzoeksrapport en het presenteren aan de examinatoren.

Tabel 2
Fasering onderzoek

Onderdeel	Taken	Bijlagen
Fase 1: Plan van Aanpak	- Achtergronden - Projectopdracht - Kwaliteit - Competenties	
Fase 2: Verkenning	- Interviews t.b.v. probleemanalyse - Projectkeuze - Plan van Aanpak definitief maken - Literatuurstudie	1: Projectkeuze [<i>niet openbaar</i>]
Fase 3: Hoofdonderzoek	- Interviews t.b.v. verdieping - Beantwoording hoofd- en deelvragen	2: CO ₂ -impact cement 3: Mengselcodelijst [<i>niet openbaar</i>] 4: Ontkistingstijd 5: Schema bevindingen onderzoek
Fase 4: Conclusie en aanbeveling	- Conclusie formuleren - Aanbeveling opstellen t.b.v. maatregelen	
Fase 5: Toelichting en presentatie	- Mondeling toelichten onderzoeksrapport - Presenteren	

Opmerking: Fasering volgens Plan van Aanpak

1.5 LEESWIJZER

De onderzoeksscope is afgekaderd om specifiek op de vraagstelling in te kunnen gaan. Met de begrenzing is duidelijk gemaakt welke onderdelen wel of niet bij het onderzoek worden betrokken. De begrenzing is verder verduidelijkt in Hoofdstuk 2.

In Hoofdstuk 3 is uitleg gegeven over de totstandkoming van de resultaten. Hierbij is uitleg gegeven over de projectkeuze, het onderzoeksproces en onderzoeksmethodiek.

In Hoofdstuk 4 is inleidende algemene informatie over het onderzoek gegeven. Deze informatie is benodigd om een juist beeld te krijgen van het onderzoek.

In Hoofdstuk 5 is antwoord gegeven op deelvraag I: *"Wat zijn de specificaties van de toegepaste betonmortels in de voorbeeldprojecten, en op welke plaats in de betonketen vindt de meeste CO₂-uitstoot plaats kijkende naar de tender-/ontwerpfase en de uitvoeringsfase?"*. Van de voorbeeldprojecten zijn de CO₂-reductieplannen geanalyseerd.

In Hoofdstuk 6 is antwoord gegeven op deelvraag II: *"Welke verschillen zijn er op te merken tussen de CO₂-reductiemaatregelen in de tender-/ontwerpfase en de uitvoeringsfase?"*. De beantwoording is tot stand gekomen door per voorbeeldproject te vergelijken of de plannen die in deelvraag I inzichtelijk zijn gemaakt ook daadwerkelijk worden uitgevoerd. Een multidisciplinair team van de voorbereiding en de uitvoering is geïnterviewd en de gegevens van beide projectfasen zijn met elkaar vergeleken.

Daarnaast is er ook antwoord gegeven op deelvraag III: *"Hoe groot zijn de verschillen en wat zijn de knelpunten die er toe leiden dat de CO₂-reductiemaatregelen niet volledig worden uitgevoerd?"*. Op de bevindingen die in deelvraag II zijn geconstateerd is dieper ingezoomd. De knelpunten zijn inzichtelijk gemaakt door de oorzaak te achterhalen en het ontwerp-/uitvoeringsteam te interviewen over de feitelijke achtergronden van de knelpunten.

In Hoofdstuk 7 is antwoord gegeven op deelvraag IV: *"Welke maatregelen kunnen ervoor zorgen dat de CO₂-uitstoot in de uitvoeringsfase overeenkomt met of lager uitvalt dan in de tender-/ontwerpfase is berekend?"*. Op basis van de knelpunten zijn maatregelen opgesteld die ertoe moeten leiden dat vooraf gemaakte CO₂-reductieplannen in de toekomst realistisch zijn en daadwerkelijk worden uitgevoerd.

In Hoofdstuk 8 is de conclusie van het onderzoek geformuleerd. Dit hoofdstuk bevat tevens het antwoord op de hoofdvraag: *"In hoeverre worden de CO₂-reductieplannen m.b.t. betonmortel uit de tender-/ontwerpfase daadwerkelijk uitgevoerd, en welke maatregelen kunnen de knelpunten aanpakken?"*.

In Hoofdstuk 9 is de bronnenlijst weergegeven. Bronvermeldingen in het onderzoeksverslag zijn conform APA opgesteld. De bronvermelding staat achter de betreffende tekst. In tabellen en figuren is de bronvermelding eronder weergegeven.

Na het laatste hoofdstuk bevinden zich nog enkele bijlagen. In de tekst van dit document is verwezen naar deze bijlagen. De bijlagen die zijn bijgevoegd zijn:

1. Projectkeuze
2. CO₂-impact cement
3. Mengselcodelijst
4. De invloed van het verkorten van de ontkistingstijd
5. Schema bevindingen van het onderzoek

Bijlagen 1 en 3 zijn niet openbaar gemaakt vanwege de geheimhoudingsplicht op bedrijfs- en projectspecifieke informatie. Zwart gearceerde tekst is om diezelfde reden niet leesbaar.

1.6 BEGRIPPENLIJST

Om enkele begrippen en afkortingen te verduidelijken zijn in Tabel 3 de definities uitgelegd.

Tabel 3
Begrippenlijst en afkortingen

Begrip	Uitleg
Aanbesteding	procedure waarbij een opdrachtgever een uit te voeren werk tegen een bepaalde prijs aan een opdrachtnemer (bijv. bouwbedrijf) gunt. (Lycaeus, z.d.)
Bekisting	Het totale pakket materieel dat nodig is om een betonconstructie vorm te geven. Het woord dateert uit de tijd dat overwegend hout werd toegepast (Betonlexicon, z.d.)
Keurmerk Beton Bewust	Het keurmerk Beton Bewust van de Vereniging van Ondernemingen van Betonmortelfabrikanten in Nederland (VOBN) garandeert de duurzame productie van betonmortel. Keurmerkhouders mogen Beton Bewust alleen voeren, als zij voldoen aan strenge eisen ten aanzien van betrouwbaarheid, deskundigheid, duurzaamheid en arbeidsveiligheid. (Vereniging van Ondernemingen van Betonmortelfabrikanten in Nederland, 2013)
Betongranulaat	Toeslagmateriaal voor beton, bestaande uit gerecycled beton. (Betonlexicon, z.d.)
(Beton)keten	Een keten is gedefinieerd als een bepaalde lijn van aanvoerende en afnemende bedrijven. (Stichting Klimaatvriendelijk Aanbesteden en Ondernemen, 2015)
Betonmortel	Benaming voor een nog plastisch mengsel van cement, grof en fijn toeslagmateriaal en water waaraan vulstoffen en hulpstoffen kunnen zijn toegevoegd. (Betonlexicon, z.d.)
CO ₂	Koolstofdioxide, een belangrijk broeikasgas. Door een teveel van onder andere deze stof ontstaat het 'versterkte broeikaseffect' waardoor klimaatverandering zal optreden. (Encyclo, z.d.)
CO ₂ -Footprint	de milieueffecten van de gehele levenscyclus van een product/bedrijf. (Stimular, z.d.)
CO ₂ -Prestatieladder	De CO ₂ -Prestatieladder is een instrument dat bedrijven helpt bij het reduceren van CO ₂ . (Wat is de ladder?, z.d.)
(CO ₂ -)Projectplan	Een startdocument voor het omschrijven hoe en wanneer een bepaald tijdelijk doel wordt bereikt. (Woorden.org, z.d.)
Composietcement (CEM V/A (S-V))	Composietcement is een grijs cement dat verkregen wordt door het malen van de hoofdcomponenten portlandcementklinker en hoogovenslak in combinatie met poederkoolvliegias. (ENCI, z.d.)
CUR-Ontwerptool 'Groen Beton'	Met de CUR-Ontwerptool is het mogelijk om het milieuprofiel te bepalen van betonmortel en betonproducten. (Vereniging van Ondernemingen van Betonmortelfabrikanten in Nederland, 2016)
EMVI	EMVI staat voor 'Economisch Meest Voordelige Inschrijving'. Hiermee bedoelen we dat zowel de prijs als kwaliteit meetelt in de aanbidding die een inschrijver moet neerleggen bij een aanbestedende dienst. (Intertenderconsult, z.d.)
Gunning	Bij een aanbesteding vindt na de sluitingsdatum van een inschrijvingen selectieproces plaats. Er wordt dan een bedrijf of een consortium van bedrijven geselecteerd dat de opdracht krijgt. Het verlenen van die opdracht wordt de 'gunning' genoemd. (Dfbonline, z.d.)
Hoogovencement (CEM III/A)	Hoogovencement CEM III/A is een lichtgrijs cement dat verkregen wordt door het gezamenlijk malen van de hoofdcomponenten portland cementklinker en gegraneleerde hoogovenslak. (ENCI, z.d.)
Hoogovencement (CEM III/B)	Hoogovencement CEM III/B is een lichtgrijs cement dat verkregen wordt door het gezamenlijk malen van de hoofdcomponenten portland cementklinker en gegraneleerde hoogovenslak. In CEM III/B zit minder portlandcementklinker dan in CEM III/A
Hydratatie	De reactie van een hydraulisch bindmiddel met water, bijvoorbeeld de chemische reactie van cement met water. (Betonlexicon, z.d.)
In-situ	Afkomstig van het Latijnse situs, plaats, locatie. In situ beton is in het werk gestort beton, dus op de bouwplaats gestort en gevormd, vrijwel altijd in een bekisting. (Encyclo, z.d.)
Ketenconvenant 'Beton Bewust'	Door middel van dit ketenconvenant zetten de ondergetekenden zich in voor een verdere verduurzaming van de eindproducten. (Cementbouw, 2016)
Mengselcodelijst	Een lijst met mengsels waardoor bestellingen en leveringen vlekkeloos kunnen verlopen. (Cementbouw, 2017)
Ontkistingstijd	de duur van de periode gedurende welke beton in de bekisting moet verharden tot voldoende sterkte is bereikt om te ontkisten. (Betonlexicon, z.d.)
Ontwerpfase	In de ontwerpfase wordt er een ontwerp of worden er enkele ontwerpen gemaakt waarmee men denkt het projectresultaat te kunnen bereiken. (Projectmanagement-training.nl, z.d.)
Portlandcement (CEM I)	Portlandcement is een grijs cement dat verkregen wordt door het malen van de hoofdcomponent portlandcementklinker. (ENCI, z.d.)
Portlandvliegiascement (CEM II/B-V)	Portlandvliegiascement is een grijs cement dat verkregen wordt door het gezamenlijk malen van de hoofdcomponenten portlandcementklinker en poederkoolvliegias. (ENCI, z.d.)

Tabel 3
Begrippenlijst en afkortingen

Begrip	Uitleg
Prefab beton	Beton dat onder geconditioneerde omstandigheden gefabriceerd en vervolgens kant-en-klaar op de bouwplaats wordt aangevoerd. (Hercuton, z.d.)
Scope 1	Directe emissies door de organisatie door gebruik van brandstof voor verwarming en processen en emissies door het eigen wagenpark. (Stichting Klimaatvriendelijk Aanbesteden en Ondernemen, 2015)
Scope 2	Indirect emissies van de opwekking van de gebruikte elektriciteit, van gebruik van privéauto's voor zakelijk verkeer en van zakelijke reizen met OV en vliegtuig. (Stichting Klimaatvriendelijk Aanbesteden en Ondernemen, 2015)
Scope 3	Emissies die het resultaat zijn van activiteiten van anderen, maar die voor het bedrijf worden uitgevoerd (Stichting Klimaatvriendelijk Aanbesteden en Ondernemen, 2015)
Tender(fase)	procedure waarbij door middel van inschrijving getracht wordt een bepaalde dienst of product te verkrijgen. (Tenderen.nl, z.d.)
TOM	Trade-Off Matrix
VOBN	Vereniging van Ondernemingen van Betonmortelfabrikanten in Nederland

2. PROJECTGRENZEN

Om ervoor te zorgen dat het onderzoek binnen de perken blijft is het noodzakelijk om de richting specifiek vast te stellen en af te bakenen. Het onderzoek moet binnen een gestelde periode zijn afgerond, daardoor kan niet alles van het onderwerp worden behandeld. Het opstellen van projectgrenzen draagt bij aan een diepere beantwoording van de onderzoeksvragen.

Het onderzoek richt zich wel op:

- Bestaande infrastructurele projecten, die worden gebruikt voor de beantwoording van de onderzoeksvragen.
- CO₂-reductieplannen die betrekking hebben op betonmortel in tender-/ontwerp- en uitvoeringsfase van de voorbeeldprojecten.
- Het bestuderen van de betonconstructies, waarin de toepassing, ontwerpeisen en betonmortelsamenstellingen een centrale rol hebben.
- Het inventariseren van bestaande eisen gesteld vanuit de opdrachtgever.
- Het inventariseren van de gebruiksfase en sloopfase/recycling t.b.v. de betonketen.
- Het verkrijgen van de projectplanning van de voorbeeldprojecten.
- Het bezoeken van de voorbeeldprojecten om een beeld te krijgen van de voorbeeldprojecten en de status ervan op zich te nemen.
- Het interviewen van leden van het tender-/ontwerpteam en uitvoeringsteam van de voorbeeldprojecten.
- Het interviewen van een projectleider, constructeur/ontwerper, betontechnoloog en werkvoorbereider van het tender-/ontwerpteam.
- Het interviewen van een projectleider, uitvoerder en werkvoorbereider van het uitvoeringsteam.
- Het vragen naar veel voorkomende problemen omtrent de toepassing van CO₂-reductieplannen tijdens de interviews.
- Het bij interviews vragen naar onderdelen waaraan gesleuteld kan worden tijdens het ontwerp en die van invloed zijn op de CO₂-uitstoot.
- Het in kaart brengen van de verschillen tussen de CO₂-reductiemaatregelen in de tender-/ontwerpfase en de uitvoeringsfase, van de voorbeeldprojecten.
- Het bepalen hoe groot de verschillen zijn en wat de knelpunten zijn die er toe leiden dat de CO₂-reductiemaatregelen niet volledig worden uitgevoerd bij de voorbeeldprojecten.
- Het opstellen van maatregelen die ervoor kunnen zorgen dat de CO₂-uitstoot zoals berekend in de tender-/ontwerpfase, overeenkomt met de uitvoering van projecten.
- Het formuleren van een conclusie en aanbeveling op basis van de beantwoording van de onderzoeksvragen.

Het onderzoek richt zich niet op:

- CO₂-reductie binnen de ondernemingen van de betrokken aannemers.
- De totstandkoming van de eisen van de opdrachtgever.
- Het nader onderzoeken van de gebruiksfase en sloopfase/recycling.
- Het implementeren van de maatregelen.
- Het onderzoeken of het aanpassen van de betonsamenstelling invloed heeft op de wapening.
- Het beantwoorden van de onderzoeksvragen op basis van archiefgegevens.

3. TOTSTANDKOMING RESULTATEN

3.1 PROJECTKEUZE

Vooraf is vastgesteld dat het onderzoek dicht bij de praktijk moet blijven, en het geen onderzoek moet worden op basis van gearchiveerde projectgegevens. Twee bestaande infrastructurele projecten, respectievelijk een nat- en droog betonwerk, dienen als onderzoeksobject om de onderzoeksvragen te beantwoorden.

De betrokken aannemers zijn gevraagd om projecten aan te leveren aan de hand van de volgende criteria:

- Er is nagedacht over het duurzaam toepassen van betonmortel.
- Het project moet in vergevorderd stadium van de uitvoeringsfase zijn, maar is nog niet afgerond.
- Het betreft een infrastructureel project.

De studenten hebben aan de hand van de aangereikte gegevens een keuze gemaakt welke projecten het meest geschikt zijn. Bij de projectkeuze hebben de vastlegging van de CO₂-reductieplannen, projectplanning en de hoeveelheid in-situ beton centraal gestaan.

In Bijlage 1 [niet openbaar] is het proces van de totstandkoming van de projectkeuze nader beschreven.

3.2 PROCES

Het proces heeft tijdens het onderzoek een belangrijke rol gespeeld. Maandelijks heeft een overleg plaatsgevonden tussen de studenten en de vertegenwoordigers van de betrokken aannemers. Tijdens deze overleggen is het onderzoek het gespreksonderwerp geweest en is gesproken over visies en verbetermogelijkheden. Daarnaast is bij projectbezoeken en interviews met de projectbetrokkenen veel informatie vrijgekomen, waarmee de onderzoeksvragen beantwoord zijn.

3.3 ONDERZOEKSMETHODIEK

Allereerst is er een 'exploratief onderzoek' uitgevoerd. Dit houdt in dat het onderzoeksgebied verkend is d.m.v. interviews. Het doel van deze interviews was het analyseren van het daadwerkelijke probleem.

Nadat het probleem is vastgesteld heeft een literatuurstudie plaatsgevonden dat inzicht geeft in de huidige situatie/ontwikkelingen van het onderzoeksgebied. De informatie die is verkregen in de literatuurstudie is in het daaropvolgende 'toegepaste onderzoek' gebruikt om antwoord te kunnen geven op de hoofd- en deelvragen. In het 'toegepaste onderzoek' is onderzoek gedaan voor de praktijk. Dit is gedaan door het verzamelen en bestuderen van informatie en door het houden van interviews die dieper op het onderwerp in gaan. Het resultaat is toepasbaar in de praktijk d.m.v. een maatregelenlijst, aanbeveling en conclusie. (Scribbr, z.d.)

Het toegepaste onderzoek is onderverdeeld in een aantal fasen die achtereenvolgend plaatsvinden. Allereerst moet gemeten worden. Met meten wordt het verzamelen van onderzoeksgegevens bedoeld. Het duiden is de vervolgstap, tijdens deze stap worden de bevindingen bekeken en de verschillen aangeduid. Hierna zijn de duidingen gecontroleerd en geëvalueerd. In deze fasen zijn de knelpunten vastgesteld. Tot slot is een conclusie getrokken. In Figuur 1 is dit schematisch weergegeven.



4. ACHTERGRONDINFORMATIE

4.1 BETONKETEN

De betonketen conform Figuur 2 bestaat uit grondstofwinning, betonproductie, ontwerp-/bouwphase, gebruiksfase en recycling-/sloopfase.

GRONDSTOFFEN EN BETONPRODUCTIE

Cement of een ander bindmiddelen is het belangrijkste bestandsdeel van beton. Het zorgt namelijk voor de bindingen tussen de toeslagmaterialen. Het toeslagmateriaal bestaat meestal uit zand en grind, maar afhankelijk van de prestatie-eisen en de beschikbaarheid van deze materialen, kan ook basalt, graniet, kalksteen, kwarts en betongranulaat in betonmortel worden verwerkt. Water wordt toegevoegd aan het mengsel. Dit heeft twee functies: de hydratatie van het cement en de verwerkbaarheid tijdens de uitvoering. Ook kunnen vulstoffen en hulpstoffen worden toegevoegd.

ONTWERP-/BOUWFASE

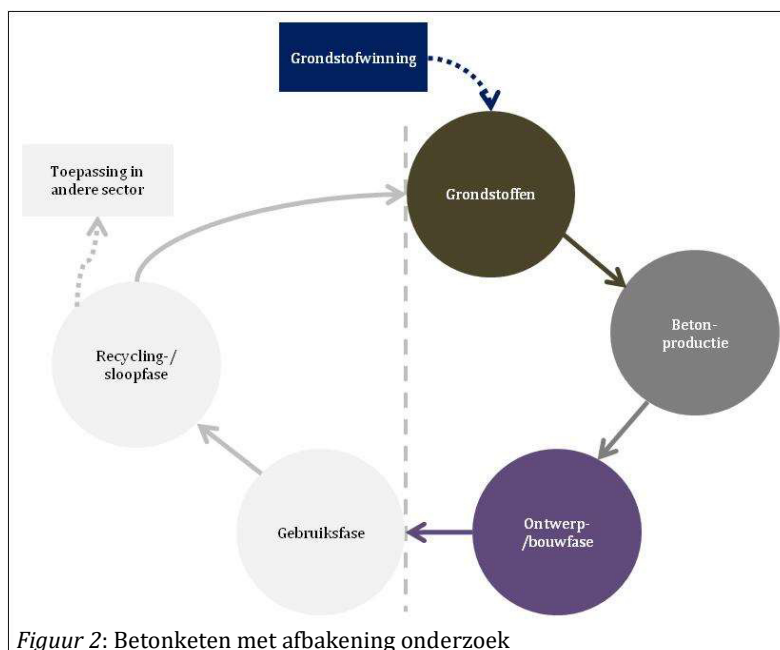
In de ontwerpphase hebben o.a. architecten, ingenieurs, tekenaars en constructeurs uitgedacht hoe het ontwerp eruit moet komen te zien en berekend aan welke eisen de betonconstructie moet voldoen. Omgevingsfactoren, belastingen, uitstraling, functionaliteit, fasering en planning spelen een belangrijke rol bij het ontwerp. Tijdens de bouwphase wordt de betonmortel in de bekisting aangebracht.

GEBRUIKSFASE

Na de bouwphase wordt het kunstwerk/gebouw in gebruik genomen. De ontwerplevensduur is meestal 50 à 100 jaar. (Betonlexicon, z.d.) In de praktijk worden plannen gemaakt om de voorziene levensduur te bereiken en het kunstwerk na de ontwerplevensduur in stand te houden, zodat de levensduur met nog enkele decennia wordt verlengd. De gebruiksfase is in dit onderzoek verder buiten beschouwing gehouden.

RECYCLING-/SLOOPFASE

Op het moment dat de levensduur van het kunstwerk/gebouw is verstreken breekt de sloopfase aan. De sloopfase kan ook eerder aanbreken, omdat een kunstwerk/gebouw niet meer voldoet aan de capaciteit of de uitstraling van het gebied. De betonconstructie wordt ontmanteld en gescheiden in betonpuin, wapeningsstaal en restafval. Betonpuin wordt grotendeels ingezet als wegfundering en in mindere mate als betongranulaat in nieuw beton. (Betonplaza, z.d.) Wapeningsstaal wordt verkocht aan staalproducenten, zij zetten het in bij de productie van nieuw staal. Innovaties kunnen het in de nabije toekomst mogelijk maken dat ongehydrateerd schoon cement wordt teruggewonnen en na bewerking opnieuw ingezet kan worden als bindmiddel in beton. Er wordt in dit onderzoek geen nader onderzoek gedaan naar de recycling-/sloopfase.

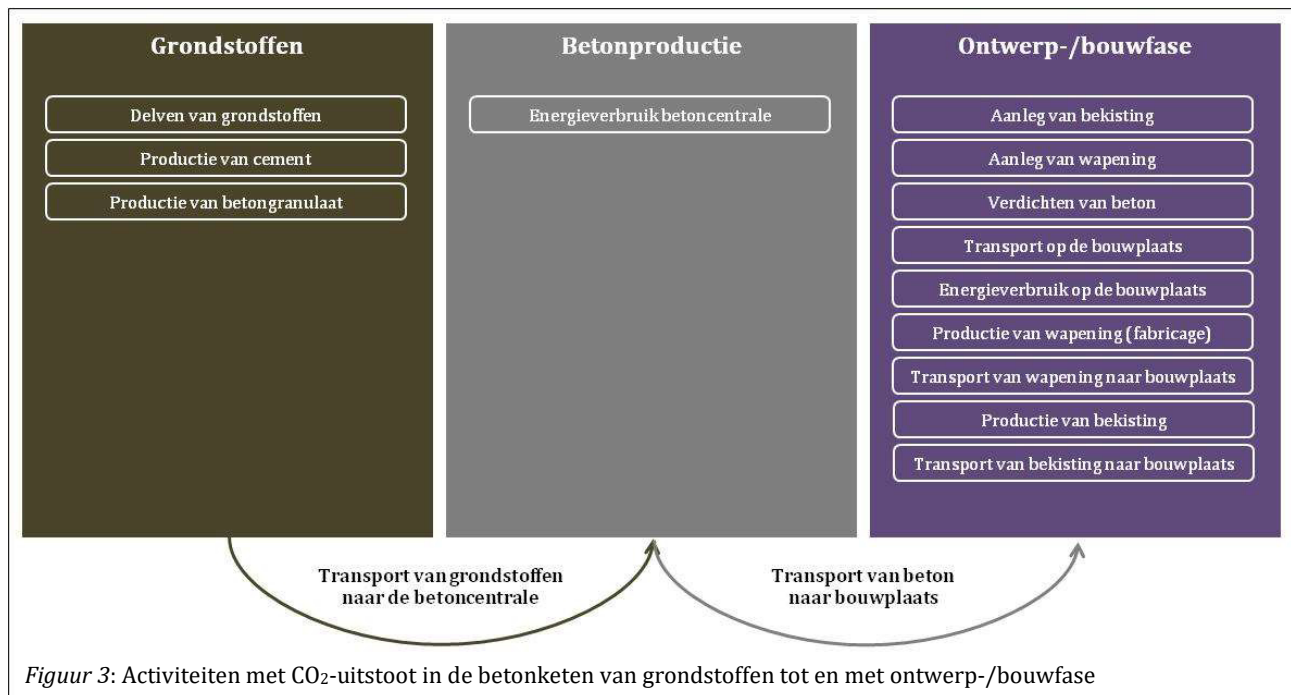


Figuur 2: Betonketen met afbakening onderzoek

4.2 DEFINITIE CO₂-UITSTOOT BETONMORTEL

De CO₂-uitstoot van beton verspreid zich over de gehele betonketen, van grondstofwinning tot de recycling-/sloopfase zoals te zien in Figuur 2. Met de 'CUR-Ontwerptool Groen Beton' kan de CO₂-impact van beton worden berekend. In dit onderzoek worden de vooraf opgestelde CO₂-reductieplannen gerelateerd aan betonmortel, vergeleken met de daadwerkelijke uitvoering. De aannemer stelt een CO₂-Projectplan op en neemt de fases van grondstofwinning tot en met de gebruiksfase mee in het definiëren van de CO₂-uitstoot.

De betonmortelleverancier houdt bij de bepaling van de CO₂-uitstoot van een betonmortel rekening met de fases grondstofwinning tot en met de betonproductie. Het onderzoek richt zich alleen op betonmortel. Om een vergelijking te kunnen maken worden de fases tot en met de betonproductie meegenomen in dit onderzoek. De drie fases en de activiteiten die hiertoe behoren zijn in Figuur 3 weergegeven.



"Cement is de meest bepalende factor in de CO₂-uitstoot van beton"

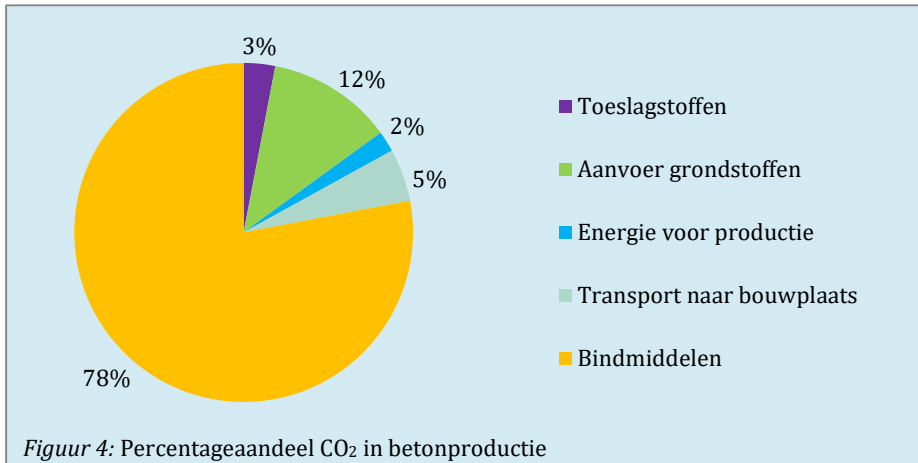
Veel van de bovengenoemde factoren hebben een zeer kleine of constante invloed op de CO₂-uitstoot van betonmortels. Voor deze factoren is het gemiddelde aangehouden dat door de 'CUR-Ontwerptool Groen Beton' aangereikt wordt. De factoren die wel een grote invloed hebben op de CO₂-uitstoot en waar potentieel ook significant CO₂ gereduceerd kan worden zijn hierna beschreven:

BETONMORTELSAMENSTELLING

Een betonconstructie is opgebouwd uit één of meerdere betonmengsels. Dit heeft te maken met het onderdeel van de constructie en de sterkteklasse(n) en milieuklasse(n) waarop de constructie moet worden gedimensioneerd. Hoe hoger de sterkteklasse, des te meer of kwalitatief beter, cement er moet worden toegevoegd aan het betonmengsel. Cement is de meest bepalende factor in de CO₂-uitstoot van beton, waardoor de betonmortelsamenstelling van essentieel belang is in dit onderzoek.

CO₂-IMPACT CEMENT

Uit jaarlijkse gegevens van brancheorganisatie VOBN blijkt dat de cementproductie voor ca. 80% verantwoordelijk is voor de totale CO₂-uitstoot in de betonketen. Het jaar 2015 is weergegeven in Figuur 3. Cement kan een significante bijdrage leveren aan CO₂-reductie in de betonketen. Tijdens de tender-/ontwerpfase is het mogelijk om duurzaamheidsplannen te maken, die kunnen leiden tot CO₂-reductie in de uitvoeringsfase. Dit proces begint bij de opdrachtgever, die tijdens de aanbestedingsfase eisen stelt aan duurzaamheid en CO₂-reductie. Scherpe eisen stimuleren de aannemer om een scherper duurzaamheidsbeleid te voeren op het project. Een uitgebreide berekening van de CO₂-impact van cement is te vinden in Bijlage 2.



Opmerking: Gegevens afkomstig van VOBN Brancheverslag door VOBN, 2011-2015, Veenendaal: Grafiteam, Drukker Grafiteam

CO₂-UITSTOOT WAPENING

Uit eigen berekeningen die zijn uitgevoerd in de aanvullende literatuurstudie: *'De levenscyclus van beton'* blijkt dat het wapeningsstaal in de betonconstructie tot en met de bouwphase voor 41,3% bijdraagt aan de CO₂-uitstoot van een betonconstructie. Deze berekening is gebaseerd op de gemiddelde betonmortelsamenstelling volgens CE-Delft (CE-Delft, 2016). Cement draagt in deze gemiddelde betonmortel voor 42,7% bij aan de totale CO₂-uitstoot van een betonconstructie. Echter heft de recycling van het wapeningsstaal de CO₂-uitstoot weer voor een groot gedeelte op. Door recycling en hergebruik wordt 52,8% van de oorspronkelijke CO₂-uitstoot van het wapeningsstaal weggenomen. Wijzigingen aan het betonontwerp in de uitvoering kunnen ervoor zorgen dat meer of minder wapeningsstaal moet worden toegepast. In het onderzoek is de wapening vanwege de onderzoeksscope niet verder behandeld.

TRANSPORT

De grondstoffen die benodigd zijn om betonmortel te kunnen produceren worden in eerste instantie van de winlocatie naar de betoncentrale getransporteerd. Voor dit transport zijn standaard parameters ingevoerd in de *'CUR-Ontwerptool Groen Beton'*. Besloten is om deze parameters aan te houden, omdat leveranties van toeslagmaterialen en cement variabel zijn per betonmortelleverancier. Het transport is verder niet onderzocht in dit onderzoek.

5. DEELVRAAG I: SPECIFICATIES

Wat zijn de specificaties en wat is de CO₂-uitstoot van de toegepaste betonmortels in de projecten kijkende naar de tender-/ontwerpfase en de uitvoeringsfase?

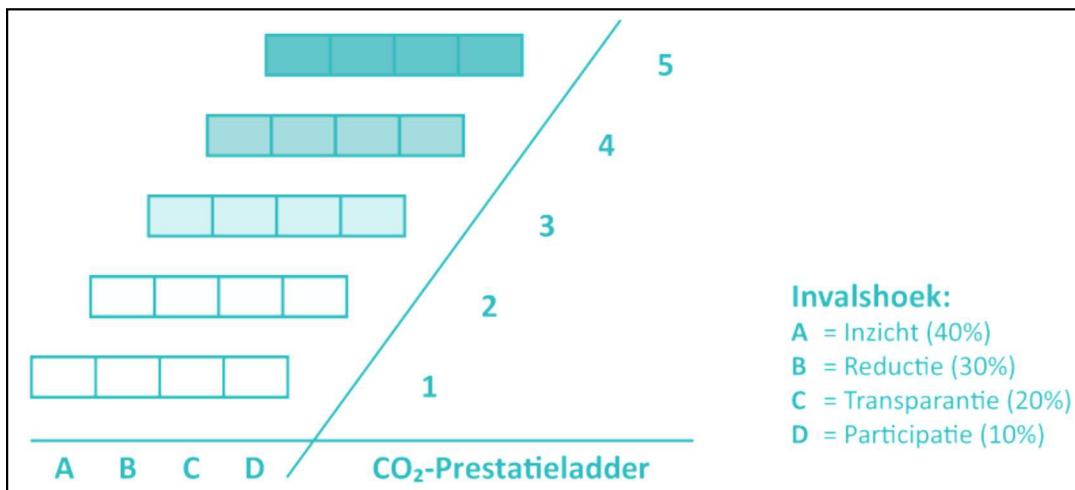
In het 'natte' en het 'droge' infrastructurele voorbeeldproject bevinden zich meerdere betonconstructies die in het werk zijn gestort. Daarbij zijn diverse betonmortelsamenstellingen gebruikt afhankelijk van o.a. de sterkteklasse, milieuklasse en functie. De regel is hoe hoger de benodigde betonsterkteklasse, hoe meer cement er in de betonmortel wordt verwerkt. Het type cement en de hoeveelheid maken een verschil in de CO₂-uitstoot van een betonmortel.

5.1 CO₂-REDUCTIEMAATREGELLEN

De voorbeeldprojecten zijn CO₂-gegrond. Dat wil zeggen dat het voldoen aan een niveau van de CO₂-Prestatieladder een fictieve korting heeft opgeleverd in het aanbestedingstraject.

CO₂-PRESTATIELADDER

De CO₂-Prestatieladder heeft als doel de CO₂-reductie van bedrijven te vergoten, zowel binnen de bedrijfsvoering als in de keten. De invalshoeken van de CO₂-Prestatieladder zijn inzicht, reductie, transparantie en participatie. De aannemers van de voorbeeldprojecten bevinden zich op de hoogste trede, niveau 5, van de CO₂-Prestatieladder. Dit houdt in dat er maximaal aan de eisen van de CO₂-Prestatieladder moet worden voldaan. Dit zijn: *[1]kennen van CO₂-uitstoot, [2]mogelijkheden om uitstoot van eigen bedrijfsvoering en projecten terug te dringen, [3]maatregelen daadwerkelijk uitvoeren, [4]verworven kennis transparant delen en [5]met de sector actief op zoek naar mogelijkheden om de uitstoot gezamenlijk terug te dringen*. De treden en invalshoeken van de CO₂-Prestatieladder zijn weergegeven in Afbeelding 1.



Afbeelding 1: Invalshoeken en treden van de CO₂-Prestatieladder. Overgenomen uit "Handboek CO₂-Prestatieladder 3.0" (p. 38) van SKAO, 10 juni 2015, Utrecht: SKAO, Copyright SKAO

CO₂-PROJECTPLAN

In de werkvoorbereidingsfase van de voorbeeldprojecten is een CO₂-Projectplan opgesteld. Het CO₂-Projectplan is gebaseerd op het CO₂-Projectplanmodel dat is gelanceerd als sectorinitiatief in het kader van de CO₂-Prestatieladder van de stichting SKAO, en het contractueel afgesproken CO₂-EMVI ambitieniveau. Het opgestelde CO₂-Projectplan bevat een analyse van de CO₂-uitstoot van het project. Er worden specifieke maatregelen opgesteld omtrent energiebesparing, materiaalbesparing, gebruik van duurzame energie en optimale inzet van materialen. De CO₂-Prestatieladder schrijft als eis om periodiek de voortgang te monitoren en te rapporteren. Bij de voorbeeldprojecten wordt dit vormgegeven door de CO₂-footprint van het project en de projectspecifieke CO₂-reductiedoelstellingen en -maatregelen te vermelden. (Stichting Klimaatvriendelijk Aanbesteden en Ondernemen, 2015)

De voorbeeldprojecten omvatten diverse CO₂-reductiedoelstellingen en -maatregelen die zijn vastgelegd in een CO₂-Projectplan en per project verschillen. De maatregelen m.b.t. scope 3 en betonmortel zijn van toepassing op dit onderzoek. De potentiële reductiemaatregelen met besparingspotentie van het 'natte' infrastructurele voorbeeldproject zijn:

- Aan- en afvoer via schip → 60% besparing t.o.v. as
- Hergebruik vrijkomend puin door afvoer naar puinbreker → besparing afhankelijk van toepassing
- Hergebruik bekisting → Besparing tot 80% nieuw hout
- Lokaal inkopen grondstoffen en materialen → besparing niet geformuleerd
- CO₂-zuinigere betonmengsels gebruiken → besparing afhankelijk van mengsels
- Hergebruik van materiaal → besparing niet geformuleerd
- Reductie materiaalgebruik door optimalisatie ontwerp → besparing niet geformuleerd
- Hergebruik materialen uit slooppand → besparing niet geformuleerd

De potentiële reductiemaatregelen met besparingspotentie van het 'droge' infrastructurele voorbeeldproject zijn:

- Materiaalverbruik verminderen in het ontwerp → besparing niet geformuleerd
- Hergebruik betongranulaat → besparing ca. 5%
- Hergebruik bekistingshout → besparing niet geformuleerd

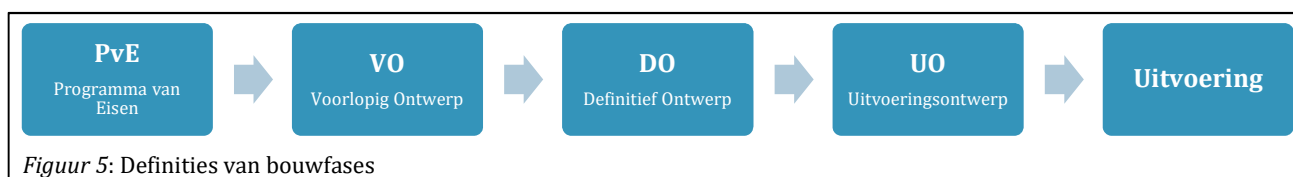
5.2 CO₂-UITSTOOT BETONMORTEL

In eerste instantie was het de bedoeling om in dit hoofdstuk weer te geven wat de exacte betonmortelsamenstellingen in de tender/ontwerpfase zijn en wat de betonmortelsamenstellingen in de uitvoering zijn. Echter is dit niet mogelijk gebleken omdat de aannemer en de betonmortelleverancier geen inzicht hebben kunnen geven in de betonmortels die geleverd zijn op het project. Hierdoor kan de vergelijking tussen de betonmortels in de tender-/ontwerpfase en de uitvoeringsfase niet gemaakt worden.

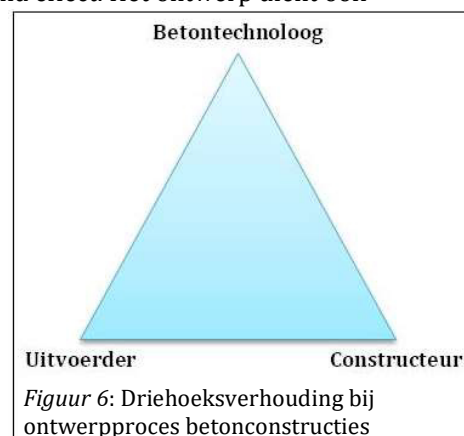
"De werkelijke CO₂-uitstoot van de aangebrachte betonmortels van de voorbeeldprojecten zijn niet bekend bij de aannemer."

5.2.1 TENDER-/ONTWERPFASE

Een project kan onderverdeeld worden in de bouwfases conform Figuur 5.



In de tender-/ontwerpfase is een goede samenwerking tussen het ontwerpteam, betontechnoloog en uitvoeringsteam erg belangrijk. Het ontwerpteam is verantwoordelijk voor een ontwerp dat aan de eisen van de opdrachtgever voldoet. Een slanke constructie is een belangrijk speerpunt van het ontwerpteam, omdat het leidt tot materiaalreductie en kostenbesparing, met CO₂-reductie als bijkomend effect. Het ontwerp dient ook uitvoerbaar en plantechisch haalbaar te zijn. De connectie met het uitvoeringsteam kan zorgen voor eventuele aanpassingen in het ontwerp. In de eindfase van het voorlopig ontwerp, op het moment dat de sterkte- en milieuklasse bekend zijn, wordt de betontechnoloog bij het project betrokken. De betontechnoloog bepaalt de betonmortelsamenstelling en stelt een mengselcodelijst op. Als de aannemer een eigen betoncentrale inzet dan stelt de betontechnoloog specifieke betonmengsels samen. Als een betonmortelleverancier voor de levering verantwoordelijk is dan stelt de betontechnoloog een bepaalde bandbreedte vast. Aan de hand van de betonmortelsamenstellingen kan gecalculeerd worden. De verhouding tussen de partijen die bepalend zijn voor het tot stand komen van betonmortels is in Figuur 6 weergegeven.



Met de mengselcodelijst is het mogelijk om de CO₂-uitstoot van de mengsels vast te stellen. Een mengselcodelijst is bijgevoegd in Bijlage 3 [*niet openbaar*]. De CO₂-uitstoot is afhankelijk van bepaalde bandbreedtes of specifieke waarden uit de mengselcodelijst. Naast de constructieve eisen wordt het gewenste cementtype opgegeven. De betontechnoloog kan bijvoorbeeld kiezen voor CEM III/B (*hoogovencement*) i.p.v. CEM I (*portlandcement*), omdat CEM I een hogere CO₂-emissie heeft. De betontechnoloog heeft hierdoor invloed op de CO₂-uitstoot van een betonmortel, omdat cement verantwoordelijk is voor het grootste aandeel CO₂ in de betonketen. Uit navraag blijkt dat bij de voorbeeldprojecten ook een mengselcodelijst is opgesteld. Er is echter geen hoeveelheid CO₂ gekoppeld aan de betonmengsels. Vanaf 2017 wordt dit wel gestandaardiseerd bij nieuwe projecten van de betreffende aannemer van de voorbeeldprojecten, die aangesloten is bij het ketenconvenant '*Beton Bewust*'.

5.2.2 UITVOERINGSFASE

De geleverde betonmortel kunnen afwijken van wat bedacht is tijdens de ontwerpfase. Oorzaken hiervan zijn:

- Het afwijken van de planning.
- Het toepassen van wintermengsels i.p.v. standaard mengsels.
- Aanpassingen aan het ontwerp.
- Gewijzigde eisen en wensen opdrachtgever.
- Betonmortelleverancier heeft grondstoffen niet op voorraad.

De werkelijke CO₂-uitstoot van de aangebrachte betonmortels van de voorbeeldprojecten zijn niet bekend bij de aannemer. De betonmortelleverancier is niet in staat geweest om de CO₂-uitstoot per betonmortel aan te leveren, omdat zij niet de capaciteit hebben om dit door te rekenen. De aannemer maakt op basis van eigen berekeningen per kwartaal een vergelijking van de CO₂-uitstoot van het toegepaste beton. Deze berekeningen zijn op basis van de betonmengsels zoals deze door de aannemer zijn bedacht tijdens de tender-/ontwerpfase. De mengsels worden in de tender-/ontwerpfase vastgesteld en samengevoegd in een mengselcodelijst. Op basis van de mengselcodelijsten die na begin 2017 zijn samengesteld, (zie ook paragraaf 6.7.4) kan een inschatting gemaakt worden welke CO₂-impact de keuze voor een wintermengsel heeft. Dit is uitgewerkt in Bijlage 2.

6. DEELVRAAG II EN III: VERSCHILLEN EN KNELPUNTEN

Welke verschillen zijn er op te merken tussen de CO₂-reductiemaatregelen in de tender-/ontwerpfase en de uitvoeringsfase?

Hoe groot zijn de verschillen en wat zijn de knelpunten die er toe leiden dat de CO₂-reductiemaatregelen niet volledig worden uitgevoerd?

In dit hoofdstuk zijn de verschillen en knelpunten behandeld. De verschillen zijn ontdekt na het bestuderen van de CO₂-reductieplannen en daaropvolgend de interviews met diverse personen verantwoordelijk voor de tender-/ontwerpfase en uitvoeringsfase die daaropvolgend plaats hebben gevonden.

Met een knelpunt wordt in dit onderzoek bedoeld: het punt waar de moeilijkheid zit. In eerste instantie is het de bedoeling geweest om de knelpunten uit te werken aan de hand van de verwachte CO₂-uitstoot van betonmortel in de tender-/ontwerpfase en de uitvoeringsfase. Gezien het feit dat er geen concrete gegevens van de uitvoeringsfase te verkrijgen zijn, is de focus komen te liggen op de knelpunten die daaruit zijn ontstaan. Daarnaast worden knelpunten in kaart gebracht die aansluiten bij de CO₂-reductiedoelstellingen en -maatregelen uit het CO₂-Projectplan van de voorbeeldprojecten. In dit hoofdstuk staan de knelpunten die zijn toegelicht in verbinding met de verschillen.

6.1 GEEN PLANNEN, WEL MAATREGELLEN

VERSCHILLEN:

Bij de projectkeuze is bij één project geconstateerd dat de duurzaamheidsplannen niet voldoende uitgewerkt zijn. Hierdoor is geen goede vergelijking worden gemaakt tussen de tender-/ontwerpfase en de uitvoeringsfase. Opvallend is dat weldegelijk afspraken zijn gemaakt. Uit navraag blijkt dat deze afspraken vooral mondeling zijn gemaakt en niet concreet te herleiden zijn in het duurzaamheidsplan. In de documenten is gesproken over het toepassen van 20-100% betongranulaat als grindvervanger. Dit is een zeer brede range. Deze tekst is gespecificeerd naar het streven naar 80% hergebruik en komt terug in de kwartaalrapportages. Het hergebruik wordt gerealiseerd door gebruik te maken van vrijkomend beton uit de oude constructie. Echter kan de oude constructie pas verwijderd worden nadat de nieuwe constructie gebouwd is. Daarom is er met de opdrachtgever en betonmortelleverancier afgesproken dat de betonmortel geleverd wordt met betongranulaat dat vrij is gekomen uit een ander project. Het betongranulaat dat in het een later stadium van het project vrij zal komen wordt afgevoerd naar de betoncentrale om als grindvervanger te dienen in nieuw beton voor andere projecten.

KNELPUNTEN:

- De duurzaamheidsplannen zijn niet concreet vastgelegd in de rapportage duurzaamheid van het project, waardoor dit niet getoetst wordt.

Het hergebruiken van minimaal 80% van de oude betonconstructie in de nieuwe betonconstructie is een ambitieuze doelstelling. De doelstelling is niet opgenomen in de rapportage duurzaamheid van het project. Het is niet noodzakelijk om een dergelijke ambitieuze doelstelling op te nemen, omdat het geen eis was vanuit de opdrachtgever. Bron: [REDACTED] Opdrachtgevers stellen duurzaamheidseisen die niet concreet zijn geformuleerd, waardoor de aannemer vrij is een eigen invulling eraan te geven. (Rijkswaterstaat, z.d.) Het is aan de aannemer om doelstellingen te bepalen mede gebaseerd op de bedrijfs(reductie)doelstellingen.

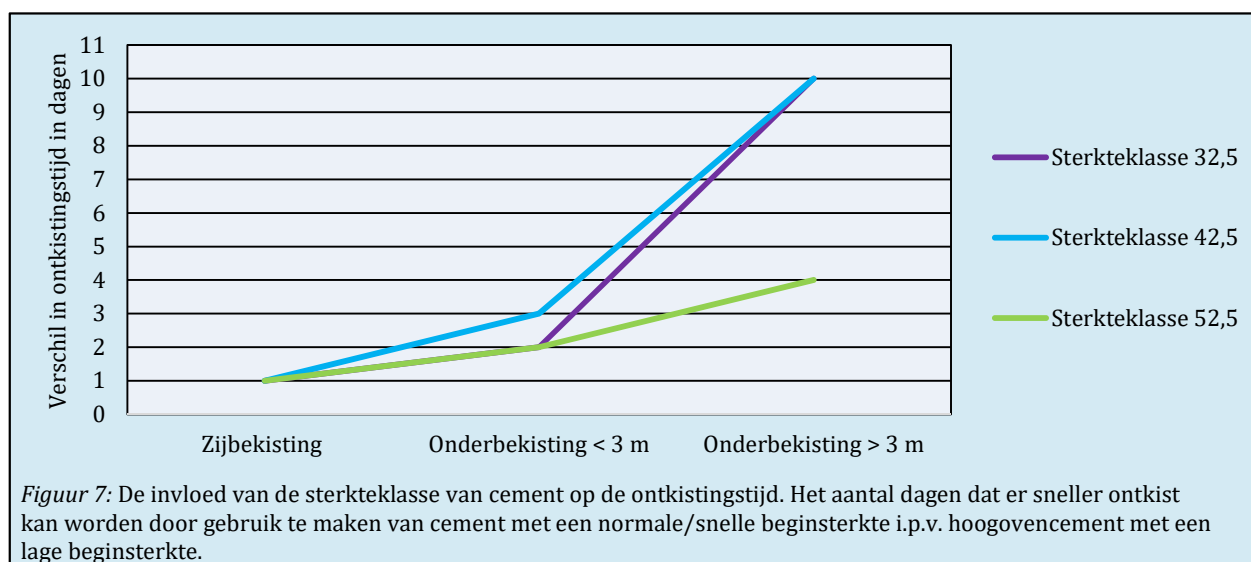
6.2 MILIEUEFFECT VAN DE ONTKISTINGSTIJD

VERSCHILLEN:

In de uitvoeringsfase hebben de kosten en planning de grootste prioriteit. Een planning is meestal strak opgezet om de deadline van de opdrachtgever te kunnen halen. De planning bevat mijlpalen, die gehaald moeten worden. Voor de aannemer is het belangrijk om de projectdoorlooptijd te verkorten en daarmee de overhead/bouwplaatskosten te verlagen. Ook is het van belang dat de werknemers niet stil komen te staan. Hierdoor wordt gekeken naar opties om de ontkistingstijd van betonproducten te verkorten. Een kortere ontkistingstijd heeft als gevolg dat meer van de meest milieubelastende cementsoort CEM I (portlandcement) moet worden toegevoegd. Dit leidt tot een significante toename van de CO₂-uitstoot van het beton. Het veranderen van de planning heeft dus een negatieve invloed op de betonmortelsamenstelling, zoals deze in de tender-/ontwerpfase is bedacht. (Projectleider, 2017)

"In de uitvoeringsfase hebben de kosten en planning de grootste prioriteit."

In Figuur 7 is per sterkteklasse van het cement te zien hoeveel dagen de ontkistingstijd verlengd wordt wanneer een lage beginsterkte toegepast wordt in plaats van een normale of een snel ontwikkelende beginsterkte. De achterliggende informatie is te vinden in Bijlage 4.



Opmerking: Gegevens afkomstig van Tabellen en grafieken bijlage bij Basiskennis Beton (tabel 17 en 18, p.13) door Cement&BetonCentrum, 2016, 's-Hertogenbosch: Aeneas, Copyright 2016, Aeneas Media

KNELPUNT:

- Prioriteiten qua planning verschillen tussen ontwerpfase en uitvoeringsfase.

In de uitvoeringsfase gelden er andere prioriteiten t.o.v. de tender-/ontwerpfase. Er wordt gestuurd om de ontkistingstijd te verkorten. Het verkorten van de ontkistingstijd kan een uitkomst zijn om tijdverlies in de planning op te vangen. Zelden wordt gekeken naar een langere ontkistingstijd of andere maatregelen om sterkteontwikkeling te versnellen, zoals isoleren of warmte toevoegen, en daarmee het kunnen gebruiken van lagere cementgehalten.

6.3 VERLENGEN VAN 28-DAAGSE STERKTE

VERSCHILLEN:

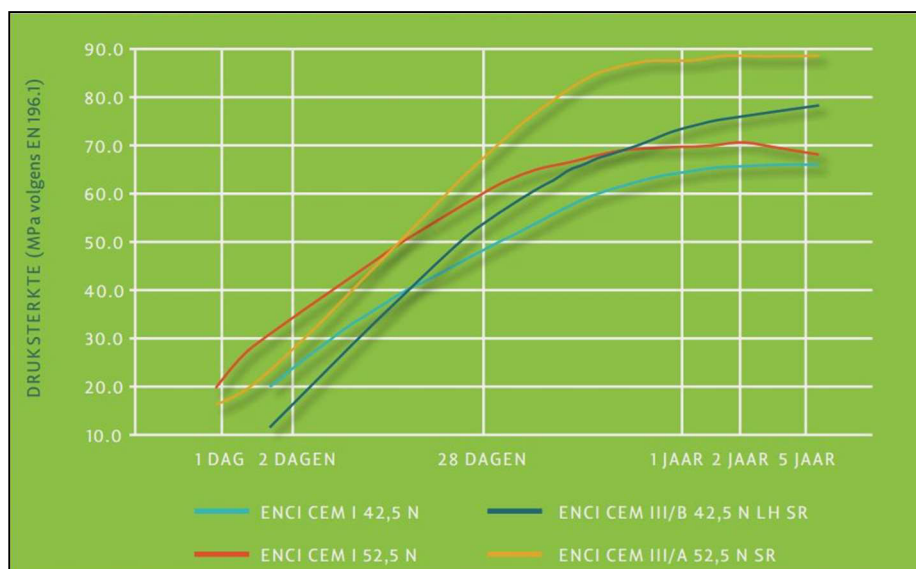
Het beton dat toegepast wordt in een constructie wordt zo samengesteld dat de berekende eindsterkte na 28 dagen bereikt is. Echter is het beton na 28 dagen nog niet volledig uitgehard. Uit een interview met een projectleider in de uitvoering van een van de voorbeeldprojecten, blijkt dat er gedacht wordt dat hier zeker nog winst te behalen is. (Projectleider Civiel, 2017) Als de rekenregels aangepast worden naar bijvoorbeeld de veelgebruikte 56 of 91 dagen kan dit winst opleveren in de samenstelling van het mengsel. Na navraag te hebben gedaan bij een betontechnoloog bleek echter dat de winst relatief klein is. In de rekentools wordt rekening gehouden met een sterktoename van 15 % ná 28 dagen. (NEN, 1992) Indien de druksterkte op een tijdstip na 28 dagen wordt bepaald, moet deze gecorrigeerd worden met een factor van 0,85. Om te profiteren van een langere uithardingstijd moet de sterktoename na 28 dagen groter zijn dan 15%.

KNELPUNTEN:

- Het ontbreken van de benodigde betontechnologische kennis.
- De CO₂-reductie die te behalen is weegt niet op tegen de tijd en inspanning die benodigd is.

De CO₂-reductie die enkele keren te behalen valt weegt niet op tegen de tijd, inspanning en geld die benodigd is om uit te zoeken bij welke constructies een mogelijke CO₂-reductie valt te behalen.

Daarnaast is het niet vanzelfsprekend dat een aannemer een expert met kennis van betontechnologie in dienst heeft. Er is sprake van het ontbreken van kennis. De inhoudelijke kennis over de 28-daagse sterkte is wellicht wel aanwezig bij constructeurs, maar zij houden zich enkel bezig met het ontwerpen op basis van constructieve eisen. Een expert met kennis van betontechnologie kan, als het gaat om complexere berekeningen zoals het verlengen van de 28-daagse eindsterkte, de ontbrekende schakel zijn tussen kennis van constructieve eisen van beton en de focus om CO₂-uitstoot te reduceren. In Afbeelding 2 is de sterkteontwikkeling na 28 dagen te zien van verschillende sterkteklassen cement.



Afbeelding 2: Lange-duur druksterkte ontwikkeling van cement. Overgenomen uit "Druksterkteontwikkeling" van ENCI, 2017 (<http://www.enci.nl/nl/druksterkteontwikkeling>), Copyright 2017, ENCI

6.4 CO₂-PROJECTPLAN CONCREET MAKEN

VERSCHILLEN:

Opvallend is dat de reductiemaatregelen en besparingspotentie in de CO₂-Projectplannen die opgesteld zijn door de aannemer erg algemeen/vaag geformuleerd zijn. Hierdoor staat het de aannemer vrij om al dan niet de reductiemaatregelen toe te passen en is aan een deel van de reductiemaatregelen gemakkelijk te voldoen. Een voorbeeld is dat CO₂-zuinigere betonmengsels beloofd worden. Hierbij is niet aangegeven waaraan gerefereerd is, hoe dit uitgevoerd gaat worden en wat de besparingspotentie is. Een andere oorzaak is dat de eisen van de opdrachtgever niet scherp genoeg zijn geformuleerd, waardoor de aannemer niet 'gedwongen' is om concrete CO₂-reductiemaatregelen te nemen.

KNELPUNTEN:

- De eisen van de opdrachtgever zijn niet scherp genoeg geformuleerd.
- Het is niet te toetsen of de besparingspotentie in de uitvoering volledig is gerealiseerd.

De scherpste van de eis gesteld door de opdrachtgever heeft invloed op de CO₂-doelstellingen en -reductiemaatregelen die de aannemer beloofd. Omdat de (duurzaamheids)eisen over het algemeen niet scherp geformuleerd zijn, worden de plannen ook niet concreet opgesteld door de aannemer (Aannemer voorbeeldproject, 2016). Als gevolg hiervan kan de besparingspotentie in beperkte mate worden getoetst.

6.5 NEGATIEVE EFFECTEN OP CO₂-UITSTOOT

VERSCHILLEN:

In het CO₂-Projectplan zijn de CO₂-reductiedoelstellingen en -maatregelen opgenomen. De (bouw)activiteiten die leiden tot meer CO₂-uitstoot zijn niet in het CO₂-Projectplan verwerkt, omdat dit geen eis is vanuit de opdrachtgever. Aan de ene kant leiden de CO₂-reductiemaatregelen tot CO₂-reductie van het project, terwijl aan de andere kant activiteiten plaatsvinden die dit gedeeltelijk opheffen. Een voorbeeld hiervan is het versnellen van de ontkistingstijd. Deze activiteit is niet opgenomen in het CO₂-Projectplan.

"De (bouw)activiteiten die leiden tot meer CO₂-uitstoot zijn niet in het CO₂-Projectplan verwerkt."

KNELPUNTEN:

- CO₂-Projectplan is alleen gestuurd op maatregelen die leiden tot een lagere CO₂-uitstoot.

De opdrachtgever eist een CO₂-Projectplan gericht op het verlagen van de CO₂-uitstoot. Activiteiten die leiden tot een hogere CO₂-uitstoot dan is begroot in het ontwerp zijn niet meegenomen CO₂-Projectplan.

6.6 IEDEREEN MOET MEEBETALEN TENZIJ HET DIRECT GELD OPLEVERT

VERSCHILLEN:

Uit interviews met diverse takken in de betonindustrie is gebleken dat de intentie om bewust om te gaan met de betonproductie zeker aanwezig is, en dat iedere tak zich in wil zetten voor CO₂-reductie (Franken & Hubers, 2017). Echter wordt daarbij wel de kanttekening geplaatst dat sectorbreed stappen ondernomen moeten worden. Als dit niet gedaan wordt dan kan dit leiden tot oneerlijke concurrentie. Er zit nog wel een positieve keerzijde aan dit verhaal. Namelijk dat CO₂-reductie vaak ook materiaalreductie of op andere manieren financiële voordelen op kan leveren. Deze voordelen komen ten goede van de aannemer en/of de opdrachtgever.

KNELPUNTEN:

- Oneerlijke concurrentie als het streven naar duurzaamheid op de eerste plaats komt te staan.

Kijkende naar de rol van de betonmortelleverancier, zullen alle betonmortelleveranciers stappen moeten nemen naar het verduurzamen van de betonketen. Op het moment dat één betonmortelleverancier beslist om alleen nog maar het duurzaamste betonmengsel te produceren, heeft dat als gevolg dat de betonmortelleverancier een duurder product levert. De betonmortelleveranciers met een goedkoper product gaan er met de opdrachten vandoor, omdat aannemers prijsgericht zijn. In dit geval ontstaat oneerlijke concurrentie. Dit is een voorbeeld voor betonmortelleveranciers, maar dit geldt voor alle andere bedrijfstakken die te maken hebben met de betonsector.

6.7 DE VERSCHILLEN IN CO₂-UITSTOOT VAN BETONMORTELS IN DE TENDER-/ONTWERPFASE EN DE UITVOERINGSFASE

Om een vergelijking te kunnen maken is in dit onderzoek een betonmortelsamenstelling van tender-/ontwerpfase en een betonmortelsamenstelling van de uitvoeringsfase benodigd. De CO₂-uitstoot van de geleverde betonmortel is niet bekend. In dit hoofdstuk zijn de verschillen en knelpunten van dit onderwerp verder toegelicht.

6.7.1 AANNEMER HEEFT GEEN ZICHT OP BETONMORTELSAMENSTELLINGEN

VERSCHILLEN:

De aannemer is tegenwoordig vaak zelf (mede) verantwoordelijk voor het ontwerp van civiele kunstwerken. Daarom wordt door aannemers ook steeds vaker een betontechnoloog geraadpleegd om de betonmortelsamenstellingen uit te werken. De normale gang van zaken is dat de betontechnoloog na het voorlopig ontwerp een mengselcodelijst opstelt op basis van de sterkte- en milieuklassen die toegepast worden binnen het project. Ook wordt gezorgd dat de betonmengsels binnen de gestelde normen vallen en voldoen aan de aanvullende eisen van de opdrachtgever. Deze mengselcodelijst bestaat uit verschillende mengsels die toegepast kunnen worden bij de diverse toepassingen binnen het project. In de mengselcodelijst staan de eisen per betonmengsel weergegeven. Echter staat het de betonmortelleverancier vrij om binnen de minimale en maximale waarden te schuiven en het mengsel naar eigen wens aan te passen. De aannemer krijgt wel een betonmortel op het werk geleverd dat aan de eisen voldoet, maar de exacte samenstelling is onbekend. (Projectleider, 2017) (Betontechnoloog, 2017)

KNELPUNTEN:

- Negatieve effecten voor de betonmortelleverancier bij het vrijgeven van concurrentie gevoelige informatie over de betonmortelsamenstellingen.

De negatieve effecten voor de betonmortelleverancier zijn groter dan voor de aannemer als het gaat om het geven van inzicht op de betonmortelsamenstellingen. De aannemer heeft een betere onderhandelingspositie, doordat hij materiaaltechnologische kennis van de betonmortel heeft en zo een betere vergelijking kan maken op basis van kosten en CO₂-uitstoot.

6.7.2 BETONMORTELEVERANCIER LEVERT GEEN CO₂-FOOTPRINT

VERSCHILLEN:

De betonmortelleverancier is de belangrijkste schakel als het gaat om het bepalen van de werkelijke CO₂-uitstoot van het beton, omdat zij de producent zijn en daarmee het dichtst bij de bron zitten. Er zijn twee wegen die er toe leiden een compleet beeld te krijgen van de CO₂-uitstoot van beton in een project:

- De betonmortelleverancier kan de betonmortelsamenstellingen rechtstreeks leveren aan de aannemer, zodat de aannemer zelf berekent welke CO₂-uitstoot hieraan hangt. De aannemer krijgt hierdoor een kijkje in de keuken van de betonmortelleverancier.
- De betonmortelleverancier kan de hoeveelheid betonmortel en de CO₂-footprint per betonmortel aanleveren. Door gebruik van mengselcodes is het niet noodzakelijk om de exacte betonmortelsamenstellingen door te spelen aan de aannemer, maar is de aannemer wel in staat een berekening van de (periodieke) CO₂-uitstoot te maken.

"De betonmortelsamenstelling is het geheim van de betonmortelleverancier."

In de praktijk blijkt dat het niet, of slechts in beperkte mate mogelijk te zijn om de concrete CO₂-uitstoot aan te leveren aan de aannemer. Er zijn betonmortelleveranciers die wel informatie aanleveren. Echter moeten nog stappen gezet worden om te bepalen wat de CO₂-footprint per betonmortel is.

KNELPUNTEN:

- De betonmortelsamenstelling is het geheim van de betonmortelleverancier.
- De betonmortelleverancier heeft zijn eigen gegevens niet op orde.
- De vraag van de aannemer wordt niet helder of consequent gesteld aan de betonmortelleverancier.
- De vraag van de aannemer wordt niet begrepen door de betonmortelleverancier.

De betonmortelleverancier kan of wil geen volledige inzage geven aan afnemers, omdat de exacte betonmortelsamenstellingen en werkwijze als 'geheim van de chef' gezien kan worden. Ook blijkt dat in de praktijk hooguit de CO₂-uitstoot projectbreed wordt verstrekt, omdat de betonleverancier in die gevallen onvoldoende inspanningen heeft gedaan of het tijdspad tekort is gebleken om van alle betonmengsels de CO₂-uitstoot te berekenen. De database van een betonleverancier bevat namelijk tot circa 20.000 betonmengsels. Anderzijds is de interactie tussen de aannemer en de betonmortelleverancier niet op orde. Als de vraag van de aannemer niet helder wordt gesteld aan de betonmortelleverancier kan het antwoord verkeerd zijn.

6.7.3 GEEN GOEDE VERGELIJKING CO₂-UITSTOOT MOGELIJK

VERSCHILLEN:

Allereerst is het voor de aannemer lastig om een goede inschatting te geven van de verwachte hoeveelheid betonmortel dat per kwartaal gestort zal worden. Hierdoor is bij de voorbeeldprojecten besloten om de totale hoeveelheid beton te delen door het aantal kwartalen dat het project duurt. De vergelijking is gebaseerd op de CO₂-uitstoot die daarbij hoort. Bij een infrastructureel project wordt normaliter eerst grondwerk verricht, daarna kan de grove (beton)bouw gerealiseerd worden en als laatste vindt de afbouw/afwerking plaats.

Hierdoor vallen de besparingspercentages in de eerste en laatste kwartalen hoger uit dan voorzien.

Anderzijds wordt in de tussenliggende kwartalen veel meer betonmortel toegepast dan in het CO₂-Projectplan is begroot. Als naar de absolute hoeveelheden wordt gekeken kan er niet worden gestuurd op de CO₂-uitstoot. (Projectleider, 2017)

Tabel 4

Vergelijking CO₂-emissie DO, Q2-2016/ Q4-2016

Emissiecategorie		Prognose DO per Q *	Gemeten uitstoot Q2 2016		Gemeten uitstoot Q3 2016		Gemeten uitstoot Q4 2016	
Scope 1	Gasolie aggregaten	5	5	0%	5	0%	0	0%
	Gasolie ov. materieel ***	0	14	-100%	28	-100%	46	-100%
	Business car travel	50	29	42%	17	66%	19	66%
Scope 2	Elektriciteit	0	-	-	-	-	-	-
Scope 3	Verbruikt materiaal: beton	434	170	61%	195	55%	472	55%
	Verbruikt materiaal: staal	96	116	-21%	16	83%	58	83%
	Verbruikt materiaal: hout	91	180	-86%	290	221%	608	221%
	Grondwerk **	2	-	-	-	-	-	-
	Transport materialen **	62	-	-	-	-	-	-
	Afvalverwerking **	4	-	-	-	-	-	-
	Energiegebruik sluizen	592	0	0%	0	0%	0	0%
Totaal		1.336	514	31%	551	26%		

Opmerking: Overgenomen uit

*

** niet gemeten

*** In het DO alleen uitgegaan van gasolie t.b.v. aggregaten. Door machines wordt wel degelijk gasolie verbruikt. Deze regel is dus toegevoegd.

Ten tweede is het voor de aannemer op dit moment onmogelijk om een exacte CO₂-emissie te bepalen van een toegepast betonmengsel. De meeste betonmortelleveranciers zijn nog niet in staat om zelf een CO₂-emissiegetal te hangen aan het mengsel dat geleverd wordt. In een overleg met brancheorganisatie VOB, diverse aannemers en betonmortelleveranciers (ketenconvenant 'Beton Bewust') is gesteld om als stip op de horizon er naar te streven om de CO₂-footprint van betonmortel op de leveringsbon te vermelden. Concrete afspraken op dit moment zijn het inzichtelijk maken van de CO₂-uitstoot per betonmortel, per project. De afspraak is dat de betonmortelleveranciers dit vanaf 1 januari 2017 aanleveren. Maar gezien de hoeveelheid data die hiervoor (meestal handmatig) verwerkt moet worden is dit over het algemeen nog niet gebeurd. (Betontechnoloog, 2017)

KNELPUNTEN:

- Projecten met betonnen constructies zijn erg dynamisch, er kan geen lineair verband worden getrokken tussen de planning en betonproductie.
- Betonmortelleveranciers hebben de CO₂-emissiegetallen van betonmortels niet op orde.
- Betonmortelleveranciers willen de samenstelling van de betonmortels niet prijsgeven.

Bouwprojecten worden steeds vaker CO₂-gegrond. (Architectuur Lokaal, 2010) Een aantal knelpunten veroorzaken dat er geen goede calculatie van de CO₂-uitstoot kan worden gemaakt. Ten eerste zijn civieltechnische projecten met veel betonwerk erg dynamisch. Ten tweede heeft de aannemer vaak niet de beschikking over de werkelijke uitgestoten CO₂ per kwartaal. Als de aannemer hier wel over beschikt bestaat er een grote kans dat de aannemer niet kan verklaren waarom de CO₂-uitstoot hoger of lager is uitgevallen, omdat de aannemer niet beschikt over de mengspecifieke CO₂-uitstoot.

6.7.4 CO₂-UITSTOOT ZOALS BEDACHT IN DE TENDER-/ONTWERPFASE

VERSCHILLEN:

Na navraag te hebben gedaan bij de betontechnoloog van de betreffende aannemer(s) van de voorbeeldprojecten is het duidelijk geworden dat op basis van ervaring een goede inschatting gemaakt kan worden van de CO₂-uitstoot van de betonmengsels in de voorbeeldprojecten. De betontechnoloog vertelt hierbij dat sinds begin 2017 op de mengselcodelijsten een verwachte CO₂-uitstoot is vermeldt. De voorbeeldprojecten zijn voor 2017 aanbesteed en hebben nog geen CO₂-footprint op de mengselcodelijst staan. Een voorbeeld van een dergelijke mengselcodelijst met CO₂-uitstoot is te vinden in Bijlage 3 [*niet openbaar*].

KNELPUNTEN:

- Een aannemer schakelt niet altijd een expert met betontechnologische kennis in.

Uit de gesprekken met de betrokken aannemers blijkt dat het geen zekerheid is dat een aannemer een betontechnoloog raadpleegt. Dit heeft een vertragend effect op de toevoeging van de CO₂-uitstoot aan de mengselcodelijst.

7. DEELVRAAG IV: MAATREGELLEN

Welke maatregelen kunnen ervoor zorgen dat de CO₂-uitstoot in de uitvoeringsfase overeenkomt met of lager uitvalt dan in de tender-/ontwerpfase is berekend?

In Hoofdstuk 6 zijn alle verschillen en knelpunten tussen de tender-/ontwerpfase en de uitvoeringsfase uitgewerkt. In dit hoofdstuk is ingegaan op de maatregelen die de verschillen en knelpunten kunnen verminderen of wegnemen. In Bijlage 5 zijn de maatregelen in lijn met de verschillen en knelpunten schematisch weergegeven.

7.1 AMBITIEUZERE DUURZAAMHEIDSEISEN

De opdrachtgever is verantwoordelijk om een eisenpakket samen te stellen, waar een aannemer de invulling ervan kan uitwerken. Het is zaak van de opdrachtgever om de eisen m.b.t. duurzaamheid en CO₂-reductie van beton ambitieuzer en projectspecifiek op te stellen.

"Het doel wordt concreter door eisen SMART te formuleren."

Het doel wordt concreter door eisen SMART (*Specifiek, Meetbaar, Acceptabel, Realistisch, Tijdgebonden*) te formuleren. De ruimte om de eis op verschillende manieren te interpreteren neemt af, waardoor het bijdraagt aan een ambitieuzere eis. Het voordeel voor de aannemer is dat de verwachtingen duidelijk zijn en de eis meer toetsbaar is.

7.2 SMART FORMULEREN CO₂-PROJECTPLAN

In de aanbestedingsfase maken aannemers hun invulling op de eisen kenbaar aan de opdrachtgever. SMART formuleren van de invulling van de eisen is een belangrijk punt, omdat de opdrachtgever dan in staat is de beloften van de aannemer te toetsen in de uitvoering. Een getal/waarde en termijn moet herleidbaar zijn. Het SMART formuleren van het CO₂-Projectplan helpt de aannemer concrete voortgangsrapportages op te stellen.

7.3 VERSNELLEN ONTKISTINGSTIJD NIET BESPREEKBAAR MAKEN

Gezien het negatieve milieueffect bij het verkorten van de ontkistingstijd is het aan te bevelen om de ontkistingstijd vast te zetten op de planning. Dit betekent dat bij het opstellen van de planning automatisch een gemiddelde ontkistingstijd wordt toegevoegd. Het verkorten van de ontkistingstijd is alleen mogelijk wanneer externe factoren dit veroorzaken. Bijvoorbeeld tegenvallende weersomstandigheden. Daarbij is het wel van belang dat de gevolgen van de aanpassingen aan de ontkistingstijd inzichtelijk zijn.

7.4 EXPERT MET BETONTECHNOLOGISCHE KENNIS RAADPLEGEN

De betontechnoloog is een belangrijke schakel tussen de uitvoerder en de constructeur, zoals in Hoofdstuk 5.2.1 is beschreven. Het is aan te bevelen om een (externe) betontechnoloog te raadplegen om allereerst inzicht te krijgen in de betonmengselsamenstellingen conform het ontwerp, en daarna de CO₂-footprint per betonmengsel eraan te koppelen. Op deze wijze kan een concrete CO₂-uitstoot van de ontwerpfase worden bepaald, en een (periodieke) vergelijking met de uitvoering worden gemaakt. Een expert met betontechnologische kennis zorgt voor meer en/of het borgen van betontechnologische kennis. Bijvoorbeeld over het al dan niet verlengen van de 28-daagse eindsterkte (uiteindelijk benodigde sterkteklasse).

7.5 BEWUSTWORDING CREËREN

Bouwplaatsmedewerkers worden geïnformeerd om bewust te worden van CO₂-uitstoot, en worden gestimuleerd maatregelen te treffen. Het is aan te bevelen om de bewustwording breder te trekken naar betonmortelleveranciers, betontechnologen en overig uitvoerend personeel. De bewustwording van de gevolgen van de CO₂-uitstoot moet bedrijfsbreed bekend zijn, net zoals veiligheid. Dit kan gerealiseerd worden door net als bij het uitvoerend personeel werkoverleggen te organiseren, waarbij het personeel ingelicht wordt over de CO₂-uitstoot en met ideeën kan komen om CO₂ te reduceren.

7.6 HAALBAARHEID VERLENGEN 28-DAAGSE STERKTE TOETSEN IN BEGINSTADIUM

Er kan worden gekeken naar de haalbaarheid van het verlengen van de 28-daagse sterkte. In het beginstadium van een project is het mogelijk om hiernaar te kijken. Dit is het moment dat er nog voldoende tijd is om wijzigingen aan te brengen. De betontechnoloog kan samen met de verantwoordelijke van de uitvoering uitzoeken of het haalbaar is qua CO₂-reductie en planning. In een later stadium is in veel gevallen geen tijd meer om de planning hierop aan te passen en wordt het niet verder onderzocht.

7.7 DEADLINE STELLEN AAN VERSTREKKEN CO₂-FOOTPRINT DOOR BETONLEVERANCIER

In Hoofdstuk 6.7.2 is kenbaar gemaakt dat het proces om de CO₂-footprint per mengsel te verkrijgen niet op orde is. De aannemer beschikt vaak niet over een mengselspecifieke CO₂-uitstoot. De informatie kan sneller worden verkregen door sectorbreed een deadline te vast te stellen aan het aanleveren van de CO₂-footprint per betonmortel door de betonmortelleverancier.

"Afspraken leiden ertoe dat de aannemer een vergelijking kan maken tussen de verwachte CO₂-uitstoot en de werkelijke CO₂-uitstoot."

Een aanvullende maatregel is het opleggen van sancties bij het niet voldoen aan de afspraken. Deze afspraken leiden ertoe dat de aannemer een vergelijking kan maken tussen de verwachte CO₂-uitstoot en de werkelijke CO₂-uitstoot.

7.8 CO₂ VERHOGENDE ACTIVITEITEN EISEN IN CO₂-PROJECTPLAN

Activiteiten die een verhogende werking hebben op de CO₂-uitstoot worden niet meegenomen in de huidige vorm van het CO₂-Projectplan. (Bouw)activiteiten die een risico vormen tot een verhoging van de CO₂-uitstoot moeten in kaart worden gebracht. De opdrachtgever kan dit als eis meenemen in het CO₂-Projectplan.

(Bouw)activiteiten die een risico vormen tot een verhoging van de CO₂-uitstoot moeten in kaart worden gebracht.

De verhoging van de CO₂-uitstoot is een afwijking t.o.v. de CO₂-uitstoot en activiteiten volgens het ontwerp. Het is niet aan te raden om de aannemer alle activiteiten in kaart te laten brengen die kunnen leiden tot een verhoging van de CO₂-uitstoot. In plaats daarvan zijn de activiteiten boven een vastgestelde grens voldoende.

7.9 SECTORBREED PLANNEN OPSTELLEN

Het is een goede stap voor de betonsector om plannen en afspraken op te stellen die sectorbreed worden gedragen. Sectorbrede afspraken moeten ervoor zorgen dat geen oneerlijke concurrentie ontstaat tussen betonmortelleveranciers of aannemers onderling, omdat hun product door duurzaamheid financieel minder aantrekkelijk wordt. Aannemers kunnen financieel beloond worden naarmate hun aanbesteding duurzaam is. Betonmortelleveranciers zijn terughoudender, omdat de afnemers van hun producten prijsgericht zijn. Daarom is het goed om sectorbreed één lijn te trekken en afspraken te maken. Dit sluit aan bij het Nationaal Betonakkoord, die momenteel wordt vormgegeven, waarin de betonsector afspraken voor de periode tot 2030 concreet vastleggen.

7.10 INTERACTIE VERBETEREN TUSSEN DE AANNEMER EN DE BETONMORTELLEVERANCIER

Noodzakelijk is dat de interactie tussen de aannemer en betonmortelleverancier duidelijk en consequent plaatsvindt. Zo moet de vraag vanuit de aannemer helder gesteld worden. Dit is op te nemen in een contract tussen de aannemer en de betonmortelleverancier.

7.11 EENDUIDIGHEID OVER REKENTOOL

In de huidige situatie is het toevoegen van de CO₂-footprint aan een betonmortel al mogelijk m.b.v. rekentools, zoals de 'CUR-Ontwerptool Groen Beton' en 'EcoChain'. Deze tools volgen de LCA (*Levenscyclusanalyse*) en NMD (*Nationale Milieudatabase*) en zijn gebaseerd op eisen, richtlijnen en normen. Het is de verantwoording van een aannemer om van geleverde producten het milieuprofiel inzichtelijk te maken en reductiemaatregelen op te stellen. De aannemer is verantwoordelijk voor de constructie, en de betonmortelleverancier voor de betonmortel. Het is de taak van de betonmortelleverancier om m.b.v. een reken tool inzicht te geven in de CO₂-footprint van de geleverde producten. Er moeten eenduidige afspraken worden gemaakt tussen de aannemer en betonmortelleverancier welke reken tool wordt gebruikt om de CO₂-footprint te berekenen. Gezien het grote aantal verschillende betonmortels in de database van de betonmortelleverancier is het niet te verwachten dat direct inzicht ontstaat over de CO₂-footprint van alle betonmortels. Een maatregel is om afspraken te maken in het ketenconvenant 'Beton Bewust' om op korte termijn de CO₂-footprint van de 20 meest geleverde betonmortels aan te leveren op het moment dat een aannemer hier naar vraagt.

7.12 PLANNING EN ONTWERP BETREKKEN BIJ RAMING CO₂-FOOTPRINT

Door de planning en het ontwerp mee te nemen bij het inschatten van de periodieke CO₂-uitstoot kan voor ieder kwartaal/halfjaar (afhankelijk van de afgesproken evaluatietermijn) gedurende het project een raming worden gemaakt. De planning geeft duidelijkheid wanneer bepaalde activiteiten van een constructie worden uitgevoerd.

**"Met de nieuwe opzet verdwijnt de afhankelijkheid
van de bouwactiviteiten."**

Uit het ontwerp kunnen vervolgens de hoeveelheden per betonmortel in die periode worden bepaald. Daarmee kan de CO₂-footprint (kg CO₂/m³) van de betreffende periode worden berekend. Met de nieuwe opzet verdwijnt de afhankelijkheid van de bouwactiviteiten. Een afwijking van de hoeveelheid beton tussen het ontwerp en de uitvoering leidt niet tot een significante afwijking van de CO₂-footprint, omdat de waarde wordt uitgedrukt in kg CO₂/m³.

8. CONCLUSIE & AANBEVELING

In dit onderzoek is gezocht naar een antwoord op de vraag: *“In hoeverre worden de CO₂-reductieplannen m.b.t. betonmortel uit de tender-/ontwerpfase daadwerkelijk uitgevoerd, en welke maatregelen kunnen de knelpunten aanpakken?”*. Hiervoor is een praktijkonderzoek uitgevoerd door de CO₂-reductieplannen van bestaande infrastructurele projecten te onderzoeken.

CONCLUSIE

De voorbeeldprojecten zijn CO₂-gegrond. De specificaties van de geleverde betonmortels van de voorbeeldprojecten zijn niet verkregen. In de werkvoorbereidingsfasen is een CO₂-Projectplan opgesteld. Het plan bevat een analyse van de CO₂-uitstoot van het project en CO₂-reductiedoelstellingen en -maatregelen.

De aannemer heeft CO₂-reductiedoelstellingen en -maatregelen opgenomen die niet concreet/SMART geformuleerd zijn. Hierdoor blijft de ongebondenheid voor het toepassen van de maatregelen groot. Uit interviews die gevoerd zijn in het kader van dit onderzoek is gebleken dat de aannemer in de uitvoeringsfase stuurt op kosten en kwaliteit. Het realiseren van de CO₂-reductieplannen komt op de tweede plaats te staan. Echter zijn de plannen zo geformuleerd dat d.m.v. een minimale inspanning vrij gemakkelijk aan de plannen voldaan kan worden.

Uit resultaten van de voorbeeldprojecten blijkt dat het niet mogelijk is om een goede vergelijking te maken tussen de verwachte CO₂-uitstoot in de tender-/ontwerpfase en de werkelijke CO₂-uitstoot in de uitvoeringsfase. Enerzijds vanwege het ontbreken van de mengspecifieke CO₂-footprint van de aangebrachte betonmortel door de betonmortelleverancier. Anderzijds doordat de aannemer enkel bandbreedtes opgeeft in de mengselspecificatie. Hierdoor is geen exacte CO₂-footprint te bepalen waar de vergelijking mee opgesteld kan worden.

De aanbevelingen helpen de potentiële CO₂-reductie om te zetten naar nog meer CO₂-reductie.

AANBEVELING

Uit het onderzoek is naar voren gekomen dat er geen goede vergelijking gemaakt kan worden tussen de CO₂-uitstoot in de tender-/ontwerpfase en uitvoeringsfase. Het advies is om vanuit het ketenconvenant *'Beton Bewust'* een termijn vast te stellen aan het leveren van de mengspecifieke CO₂-footprint door de betonmortelleveranciers. Een goede eerste aanzet is om van de 20 meest gebruikte betonmengsels de CO₂-footprint te bepalen en daarna per aanbesteed project de gevraagde betonmengsels door te rekenen. Met deze maatregel wordt de lijst met de CO₂-uitstoot van betonmengsels steeds uitgebreider.

Daarnaast is gebleken dat duurzaamheidseisen van de opdrachtgever niet scherp genoeg zijn geformuleerd en dat de aannemer geen aanvullende doelstellingen opstelt. Advies aan de opdrachtgever is om duurzaamheidseisen SMART te formuleren, waardoor het doel concreter en ambitieuzer vast komen te staan. Aanvullend advies aan de opdrachtgever is om eisen SMART te formuleren, waardoor het doel concreter wordt. Het SMART formuleren van het CO₂-Projectplan helpt de aannemer concrete voortgangsrapportages op te stellen. Ook is de opdrachtgever dan in staat de beloften van de aannemer te toetsen in de uitvoering.

Tot slot is uit het onderzoek naar voren gekomen dat er bouwactiviteiten plaatsvinden die een negatief effect hebben op de CO₂-uitstoot. Advies aan de aannemer is om de activiteiten met een negatieve CO₂-impact op te nemen in het CO₂-Projectplan. En daarnaast om de ontkistingstijd vast te zetten op de planning en de haalbaarheid van het verlengen van de 28-daagse betonsterkte in het beginstadium van een project te onderzoeken. Bewustwording aan de uitvoerende kant kan tevens een bijdrage leveren om minder snel handelingen uit te voeren die een negatief effect hebben op de CO₂-uitstoot.

9. DISCUSSIE

In het onderzoek is antwoord gegeven op de hoofd- en deelvragen. Uit het onderzoek zijn een aantal verschillen en knelpunten naar voren gekomen waar op voorhand geen zicht op was. Door middel van de maatregelen die zijn opgesteld moet het mogelijk zijn om de verschillen en knelpunten te beheersen. Echter is uit het onderzoek gebleken dat nog veel moet gebeuren in de betonsector. Zo is het zeer onwenselijk dat er geen zicht is op de exacte CO₂-uitstoot van de betonmortels die geleverd worden door de betonmortelleveranciers. Een mogelijk vervolgonderzoek zou zich kunnen richten op de informatievoorziening omtrent de verstrekking van de CO₂-footprint door de betonmortelleverancier. Het is wenselijk dat de gegevens van de betonmortelleveranciers zo snel mogelijk boven tafel komen. Vervolgonderzoek kan zich richten op het opzetten van een model waarin het verlengen van de 28-daagse sterkte en de CO₂-impact in een oogopslag inzichtelijk wordt gemaakt. Ook is er nog onderzoek mogelijk naar het verscherpen van de eisen van de opdrachtgever.

10. BRONNENLIJST

- Aannemer voorbeeldproject. (2016). *CO₂-Projectplan*. Aannemer voorbeeldproject.
- Architectuur Lokaal. (2010). *Vijf jaar Europees aanbesteden van architectuuropdrachten*. Brugge: Die Keure.
- Betonlexicon. (z.d.). *Bekisting*. Opgeroepen op 16 mei, 2017, van <http://betonlexicon.nl/B/Bekisting/>
- Betonlexicon. (z.d.). *Betongranulaat*. Opgeroepen op 16 mei, 2017, van <http://betonlexicon.nl/B/Betongranulaat/>
- Betonlexicon. (z.d.). *Betonmortel*. Opgeroepen op 16 mei, 2017, van <http://betonlexicon.nl/B/Betonmortel/>
- Betonlexicon. (z.d.). *Hoogovencement*. Opgeroepen op 17 mei, 2017, van <http://betonlexicon.nl/H/Hoogovencement/>
- Betonlexicon. (z.d.). *Hydratatie*. Opgeroepen op 17 mei, 2017, van <http://betonlexicon.nl/H/Hydratatie/>
- Betonlexicon. (z.d.). *Levensduur van een betonconstructie*. Opgeroepen op 17 mei, 2017, van <http://betonlexicon.nl/O/OntwerpLevensduur%20van%20een%20betonconstructie/>
- Betonlexicon. (z.d.). *Ontkistingstijd*. Opgeroepen op 17 mei, 2017, van <http://betonlexicon.nl/O/Ontkistingstijd/>
- Betonplaza. (z.d.). *Hergebruik*. Opgeroepen op 18 mei, 2017, van <http://betonplaza.nl/groen-beton/hergebruik>
- Betontechnoloog. (2017, 25 april). Interview. (M. Hubers, & M. Franken, Interviewers)
- Bouwend Nederland. (2015). *Duurzaamheid*. Opgeroepen op 16 mei, 2017, van <http://www.bouwendnederland.nl/download.php?itemID=1382145>
- CE-Delft. (2016). *Update prioritering handelingsperspectieven verduurzaming betonketen 2016*. Delft: CE Delft.
- Cement&BetonCentrum. (2016). *Tabellen en Grafieken Bijlage bij Basiskennis Beton*. 's Hertogenbosch: Aeneas Media.
- Cementbouw. (2016, 21 januari). *Ketenconvenant Beton Bewust*. Opgeroepen op 17 mei, 2017, van <http://www.cementbouw.nl/media/2716.pdf>
- Cementbouw. (2017, 24 april). *Hart van zuid Rotterdam*. Opgeroepen op 17 mei, 2017, van <http://www.cementbouw.nl/projecten/74-hart-van-zuid-rotterdam>
- Cobouw. (z.d.). <http://www.cobouw.nl/artikel/926401-column-nlingenieurs-beloont-werkelijke-CO2-reductie>. Cobouw.
- Dfbonline. (z.d.). *Gunning*. Opgeroepen op 17 mei, 2017, van <http://www.dfbonline.nl/begrip/20246/gunning>
- ENCI. (z.d.). *Druksterkteontwikkeling*. Opgeroepen op 1 mei, 2017, van <http://www.enci.nl/nl/druksterkteontwikkeling>
- ENCI. (z.d.). *Producten - bulk*. Opgeroepen op 17 mei, 2017, van http://www.enci.nl/nl/system/files_force/assets/document/23/3d/grijs_portlandcement_cem_i.pdf?download=1
- ENCI. (z.d.). *Producten - bulk*. Opgeroepen op 17 mei, 2017, van http://www.enci.nl/nl/system/files_force/assets/document/grijs_portlandvliegascement_cem_ii_b_v.pdf?download=1
- ENCI. (z.d.). *Producten - bulk*. Opgeroepen op 17 mei, 2017, van http://www.enci.nl/nl/system/files_force/assets/document/bb/94/grijs_hoogovencement_cem_iii_a.pdf?download=1
- ENCI. (z.d.). *Producten - bulk*. Opgeroepen op 17 mei, 2017, van http://www.enci.nl/nl/system/files_force/assets/document/6b/bb/grijs_composietcement_cem_v_a_s_v.pdf?download=1
- ENCI, Mebin & SAGREX. (2016). *Betonpocket 2016*. ENCI.
- Encyclo. (z.d.). *CO₂*. Opgeroepen op 17 mei, 2017, van <http://www.encyclo.nl/begrip/CO2>
- Encyclo. (z.d.). *Portlandcement*. Opgeroepen op 17 mei, 2017, van <http://www.encyclo.nl/begrip/portlandcement>
- Encyclo. (z.d.). *Situ*. Opgeroepen op 17 mei, 2017, van <http://www.encyclo.nl/begrip/Situ>
- Franken, M., & Hubers, M. (2017). *Procesbijlage*. HAN.
- Hercuton. (z.d.). *Wat is prefab beton?* Opgeroepen op 17 mei, 2017, van <http://www.hercuton.nl/wie-zijn-wij/wat-prefab-beton>
- Intertenderconsult. (z.d.). *Uitleg EMVI*. Opgeroepen op 17 mei, 2017, van <http://intertenderconsult.nl/wat-is-emvi/uitleg-emvi/>

- Lycaeus. (z.d.). *Juridischwoordenboek*. Opgeroepen op 16 mei, 2017, van <http://www.juridischwoordenboek.be/woordenboekBe.html#2317>
- NEN. (1992). *NEN-EN 1992-1-1*. Delft: NEN.
- Projectleider Civiel, 1. (2017, 29 maart). Interviews. (M. Franken, & M. Hubers, Interviewers)
- Projectleider, 1. (2017, 12 april). Interview. (M. Hubers, & M. Franken, Interviewers)
- Projectmanagement-training.nl. (z.d.). *Zes fasen*. Opgeroepen op 17 mei, 2017, van <https://www.projectmanagement-training.nl/boek/zes-fasen/>
- Rijkswaterstaat. (z.d.). *Zakendoen met rijkswaterstaat - inkoopbeleid - duurzaam inkopen*. Opgeroepen op 18 mei, 2017, van <https://www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/zakendoen-met-rijkswaterstaat/inkoopbeleid/duurzaam-inkopen/>
- SBRCURnet. (2017). *CUR-Ontwerptool Groen Beton*. Opgeroepen op 23 mei, 2017, van <https://www.curontwerptoolgroenbeton.nl/>
- Scribbr. (z.d.). *Onderzoeksmethoden*. Opgeroepen op 24 april, 2017, van <https://www.scribbr.nl/category/onderzoeksmethoden/>
- Stichting Klimaatvriendelijk Aanbesteden en Ondernemen. (2015). *Handboek CO₂-Prestatieladder 3.0*. Utrecht: SKAO.
- Stimular. (z.d.). http://www.stimular.nl/CO2footprint_en_reductieplan. Opgeroepen op 19 mei, 2017
- Tenderen.nl. (z.d.). *Wat is een tender?* Opgeroepen op 17 mei, 2017, van <http://tenderen.nl/content/wat-een-tender/>
- Vereniging van Ondernemingen van Betonmortelfabrikanten in Nederland. (2011-2015). *Brancheverslag*. Veenendaal: VOBN. Opgeroepen op 15 maart, 2017
- Vereniging van Ondernemingen van Betonmortelfabrikanten in Nederland. (2013, 14 april). *Keurmerk-beton-bewust*. Opgeroepen op 16 mei, 2017, van <http://www.vobn-beton.nl/beton-bewust%7Ccsc/keurmerk-beton-bewust>
- Vereniging van Ondernemingen van Betonmortelfabrikanten in Nederland. (2016, 2 maart). *Nieuwe online versie van de cur ontwerptool groen beton*. Opgeroepen op 17 mei, 2017, van <http://www.vobn-beton.nl/nieuws/nieuwsberichten/nieuwe-online-versie-van-de-cur-ontwerptool-groen-beton>
- Wat is de ladder?* (z.d.). Opgeroepen op 17 mei, 2017, van <http://www.skao.nl/wat-is-de-ladder>
- Woorden.org. (z.d.). *Projectplan*. Opgeroepen op 17 mei, 2017, van <http://www.woorden.org/woord/projectplan>

Interviews zijn beknopt weergegeven in de bronnenlijst in verband met de geheimhouding van projecten.

11. BIJLAGEN

Tabel 5
Overzicht bijlagen

Bijlage	Onderwerp	Openbaar
Bijlage 1	Projectkeuze	Nee
Bijlage 2	CO ₂ -impact cement	Ja
Bijlage 3	Mengselcodelijst	Nee
Bijlage 4	De invloed van het verkorten van de ontkistingstijd	Ja
Bijlage 5	Schema bevindingen van het onderzoek	ja

BIJLAGE 2: CO₂-IMPACT CEMENT

INHOUDSOPGAVE

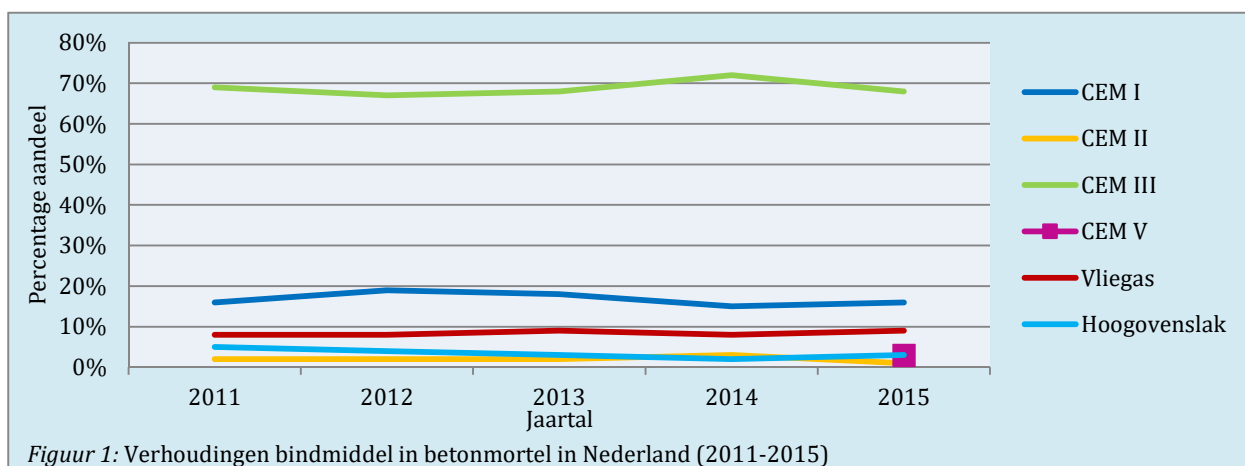
Inhoudsopgave.....	2
1. Inleidende informatie	3
1.1. Hoeveelheid bindmiddel in betonmortel in Nederland	3
1.2. Gemiddelde betonmortelsamenstelling in nederland	3
1.3. Naamgeving cement.....	4
1.4. CUR-Ontwerptool 'Groen Beton'	4
2. CO ₂ -footprint cementtype	5
2.1. Uitgangspunten	5
2.2. Rapport CUR-Ontwerptool 'Groen Beton'	5
2.3. CO ₂ -footprint gemiddelde betonmortel	5
2.4. CO ₂ -footprint cementtypes	6
2.5. Conclusie	6
3. CO ₂ -footprint winter-/zomermengsels.....	7
3.1. Uitgangspunten	7
3.2. Verwachte resultaten	7
3.3. Prestatie-eisen mengselvergelijking	7
3.4. Resultaat	8

1. INLEIDENDE INFORMATIE

De informatie in dit hoofdstuk is benodigd om een vergelijking te kunnen maken van de invloed van verschillende cementtypes en zomer-/wintermengsels op de CO₂-uitstoot van betonmortel.

1.1. HOEVEELHEID BINDMIDDEL IN BETONMORTEL IN NEDERLAND

Volgens de jaarlijkse benchmark van brancheorganisatie VOBN bestond iedere toegepaste m³ bindmiddel in 2015 voor 68% uit CEM III, 16% uit CEM I, 9% uit vliegas en voor het overige deel uit hoogovenslak, CEM V en CEM II (VOBN, Brancheverslag, 2011-2015). In Figuur 1 is te zien dat de verhoudingen van de toegepaste bindmiddelen in betonmortel in de periode 2011-2015 nagenoeg onveranderd is gebleven.



Figuur 1: Verhoudingen bindmiddel in betonmortel in Nederland (2011-2015)

Opmerking: Gegevens afkomstig van VOBN Brancheverslag door VOBN, 2011-2015, Veenendaal: Grafiteam, Drukker Grafiteam

1.2. GEMIDDELDE BETONMORTELSAMENSTELLING IN NEDERLAND

De samenstelling van betonmortel is afhankelijk van de milieu- en sterkteklasse. Uit navraag blijkt dat een betonmortelleverancier tot zo'n 20.000 verschillende betonmortelsamenstellingen in de database heeft staan. CE-Delft heeft onderzoek gedaan naar verduurzaming van de betonketen. In het onderzoeksrapport 'Update prioritering handelingsperspectieven verduurzaming betonketen 2016' staat de gemiddelde samenstelling van betonmortel vermeld (CE-Delft, november 2016). Dit is in Tabel 1 weergegeven.

Tabel 1
Gemiddelde samenstelling betonmortel

Component	Hoeveelheid component [kg/m ³ betonmortel]
Portlandcement CEM I	59
Hoogovencement CEM III	253
Rivierzand	787
Riviergrind	1.034
Betongranulaat	40
Poederkoolvliegas	6
Kalksteenmeel	0
Water	167
Gemiddeld totaal	2.346
Waarden berekend op basis van gegevens van VOBN	

Opmerking: Aangepast overgenomen uit *Update prioritering handelingsperspectieven verduurzaming betonketen 2016* (p. 15) door Marit van Lieshout en Sanne Nusselder, november 2016, Delft: CE-Delft, Copyright 2016.

Op basis van de gegevens in Tabel 2 is een gemiddelde betonmortel afgeleid bestaande uit cement, rivierzand, riviergrind en water. Het soortelijk gewicht is hetzelfde als de gemiddelde betonmortelsamenstelling.

Tabel 2

Samenstelling betonmortel t.b.v. berekeningen CUR-Ontwerptool 'Groen Beton'

Samenstelling	Hoeveelheid [kg CO ₂ /m ³ betonmortel]
Cement	318
Rivierzand	800
Riviergrind	1.061
Water	167
Gemiddeld totaal	2.346

Opmerking: gebaseerd op gegevens uit Tabel 1

1.3. NAAMGEVING CEMENT

Bij een betonmortel kan binnen hetzelfde cementtype een verschillende CO₂-uitstoot ontstaan, omdat er een range is vastgesteld voor de benaming van cement. Bijvoorbeeld, een betonmortel met 70% hoogovenslak heeft dezelfde benaming als een betonmortel met 78% hoogovenslak, namelijk CEM III/b (hoogovencement). In dit voorbeeld heeft hoogovencement een verschillende CO₂-uitstoot. In Tabel 3 is bandbreedte per cementtype weergegeven.

Tabel 3

Samenstelling cement in massaprocenten

Naam	Betekenis	Samenstelling (in %)		
		Portlandcement-klinker	Hoogovenslak	Vliegas
CEM I	Portlandcement	100%		
CEM II/b-v	Portlandvliegascement	65-79%		21-35%
CEM III/a	Hoogovencement	35-64%	36-65%	
CEM III/b	Hoogovencement	20-34%	66-80%	
CEM V	Composietcement	40-64%	18-30%	18-30%

Opmerking: Aangepast overgenomen uit Betonpocket 2016 (p. 212-213) door ENCI, Mebin en SAGREX, 2016, Copyright 2016

1.4. CUR-ONTWERPTOOL 'GROEN BETON'

Met de *CUR-Ontwerptool 'Groen Beton'* kan de CO₂-footprint van een betonmortel worden berekend. De fases die kunnen worden doorgerekend zijn:

- Grondstofwinning en betonproductie
- Bouwfase
- Recyclingfase

2. CO₂-FOOTPRINT CEMENTTYPE

In dit hoofdstuk is een vergelijking gemaakt van de impact van het gebruik van veelvoorkomende cementtypes (zie Figuur 1) op de CO₂-uitstoot.

2.1. UITGANGSPUNTEN

De *CUR-Ontwerptool 'Groen Beton'* maakt het mogelijk om de CO₂-impact van betonmortel te berekenen. De basis van een betonmortel bestaat uit cement, water, zand en grind. De betonmortelsamenstelling is conform de gemiddelde betonsamenstelling in Nederland dat in hoofdstuk 1.2 nader is verklaard. De hoeveelheden uit Tabel 2 zijn gebruikt om de CO₂-impact van cement te bepalen. De hoeveelheid cement in de betonmortel is hetzelfde voor iedere berekening van de CO₂-footprint. Alleen het cementtype is variabel. De CO₂-uitstoot van de cementtypes is conform geverifieerde waarden uit de database van de *CUR-Ontwerptool 'Groen Beton'*. Dit zijn de cementtypes die in deze vergelijking zijn meegenomen:

- CEM I
- CEM II/b-v
- CEM III/a
- CEM III/b
- CEM V

Dit zijn de processen/samenstellingen van de betonmortel die in deze vergelijking zijn meegenomen:

- Cement
- Toeslagmateriaal
- Betonproductieproces
- Energie

Voor deze berekening is niet gekeken naar de invloed van wapening en/of bekisting, omdat dit niet het uitgangspunt is van deze berekening. Alleen de impact van cement op de CO₂-uitstoot van betonmortel is berekend.

2.2. RAPPORT CUR-ONTWERPTOOL 'GROEN BETON'

De *CUR-Ontwerptool 'Groen Beton'* heeft de uitgangspunten en resultaten voor elke berekening gebundeld in een rapport. De rapportages zijn te vinden in de aanvullende bijlagen 2.1 t/m 2.7

2.3. CO₂-FOOTPRINT GEMIDDELDE BETONMORTEL

Van de gemiddelde betonmortelsamenstelling volgens hoofdstuk 1.2 is berekend wat de CO₂-footprint is. In Tabel 4 is de CO₂-footprint ervan weergegeven.

Tabel 4

CO₂-footprint gemiddelde betonmortel conform CE-Delft (CE-Delft, november 2016)

Samenstelling	Hoeveelheid [kg CO ₂ /m ³ betonmortel]	Percentage van totaal [%]
Cement	132,09	69,6%
Toeslagmateriaal	25,37	13,4%
Betonproductieproces	21,71	11,4%
Energie	10,73	5,6%
TOTAAL	189,90	

Opmerking: eigen berekening m.b.v. CUR-Ontwerptool 'Groen Beton'

2.4. CO₂-FOOTPRINT CEMENTTYPES

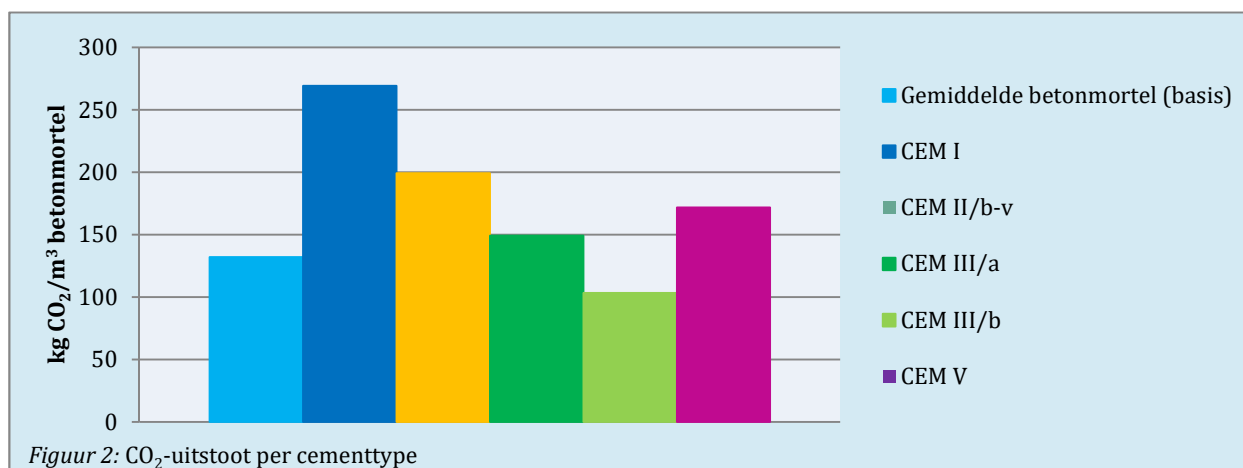
Van de cementtypes benoemd in de uitgangspunten is doorgerekend wat de CO₂-footprint is. In Tabel 5 is de CO₂-footprint van alle doorgerekende cementtypes weergegeven. Een grafische weergave ervan is in Figuur 2 te vinden.

Tabel 5

Vergelijking CO₂-footprint per cementtype t.o.v. cement in gemiddelde betonmortel

Cementtype	Hoeveelheid [kg CO ₂ /m ³ betonmortel]	Percentage t.o.v. basis [%]
Gemiddelde betonmortel (basis)	132,09	Basis
CEM I	269,35	+104%
CEM II/b-v	199,24	+51%
CEM III/a	149,25	+13%
CEM III/b	103,21	-22%
CEM V	171,88	+30%

Opmerking: eigen berekening m.b.v. CUR-Ontwerptool 'Groen Beton'



Figuur 2: CO₂-uitstoot per cementtype

Opmerking: Gegevens afkomstig uit Tabel 5, eigen berekening m.b.v. CUR-Ontwerptool 'Groen Beton'

2.5. CONCLUSIE

Afhankelijk van de het cementtype is de cementproductie voor circa 64% (CEM III/b) tot 82% (CEM I) van de totale CO₂-emissie verantwoordelijk voor de totale CO₂-emissie van de betonproductie. Binnen het cementtype zijn er significante verschillen op te merken als het gaat om de CO₂-uitstoot. Het toepassen van CEM III/b (hoogovencement) kan leiden tot een CO₂-reductie van 61% als dezelfde hoeveelheid cement in een betonmortel is toegepast. Het toepassen van CEM III/b is niet altijd mogelijk, omdat de uithardingstijd langer is of bij hogere sterkteklassen. Bijvoorbeeld de planning of de weersinvloeden zorgen ervoor dat CEM I wordt toegepast.

Tabel 6

Percentageaandeel CO₂-emissie van totaal per grondstof/materiaal

Grondstof/materiaal	Gemiddelde betonmortel	CEM I	CEM II/b-v	CEM III/a	CEM III/b	CEM V
Cement	70%	82%	77%	72%	64%	75%
Toeslagmateriaal	13%	8%	10%	12%	16%	11%
Beton	11%	7%	8%	10%	13%	9%
Energie	6%	3%	4%	5%	7%	5%

Opmerking: eigen berekening m.b.v. CUR-Ontwerptool 'Groen Beton'

3. CO₂-FOOTPRINT WINTER-/ZOMERMENGSELS

3.1. UITGANGSPUNTEN

Uitgangspunt voor de vergelijking is de mengselcodelijst van één van de betrokken aannemers (Aannemer, 2017). Hierop staat een bandbreedte van eisen weergegeven die de betonmortelleverancier gebruikt om betonmortels op het project af te leveren. De volgende eisen zijn weergegeven:

- Sterkteklasse
- Milieuklasse
- Maximale wbf (waterbindmiddelfactor)
- Consistentieklasse
- Toeslagmateriaal
 - Percentage 4-16 mm
 - Percentage 4-32 mm
 - Minimum hoeveelheid "fijn" (liter/m³)
 - Type toeslagmateriaal
- Bindmiddelcomponenten
 - Bindmiddel type 1
 - Bindmiddel type 2 (= of < 25% m/m)
 - Bindmiddelgehalte (kg/m³)
 - Vulstof en/of puzzolaan (incl. normtechnisch toegelaten k-waarde)
- Additieven
 - Toevoegingen en/of kleurstoffen
 - Hulpstoffen
- Verhardingscontrole-aspecten
 - IJkgrafiek
 - Indicatie CO₂-emissie excl. transport (kg/m³)
 - Indicatie MKI excl. transport (euro/m³)

3.2. VERWACHTE RESULTATEN

Het verschil tussen een standaard mengsel en een wintermengsel zit in het cementtype. Buiten de winterperiode kan gekozen worden voor een betonmortel met een langere uithardingstijd en een lagere CO₂-uitstoot, in de meeste gevallen CEM III/b. In de winterperiode is de aannemer genoodzaakt om een wintermengsel te kiezen met een cementtype die sneller uithard. Portlandcement (CEM I) zal dan naar verwachting worden toegepast.

3.3. PRESTATIE-EISEN MENGSELVERGELIJKING

MENGSEL 1

Sterkteklasse:	C20/25		
Milieuklasse:	XC3/XD1/XF1/XA1		
Max. wbf:	0,55		
Consistentieklasse:	S3 en F4		
Chlorideklasse:	CL 0,2		
Toeslagmateriaal:	> 125 liter/m ³ fijn	&	> 130 liter/m ³ fijn

MENGSEL 2

Sterkteklasse:	C30/37		
Milieuklasse:	XC3/XD1/XF1/XA1		
Max. wbf:	0,55		
Consistentieklasse:	S3 en F4		
Chlorideklasse:	CL 0,2		
Toeslagmateriaal:	> 125 liter/m ³ fijn	&	> 130 liter/m ³ fijn

In de wintermengsels is CEM I toegestaan als aanvulling.

Gegevens afkomstig van mengselcodelijst betreffende aannemer (Aannemer, 2017).

3.4. RESULTAAT

In Tabel 7 is het verschil tussen de CO₂-emissie van standaard mengsels en wintermengsels weergegeven (Aannemer, 2017). Een hogere sterkteklasse leidt tot een percentueel grotere toename van het CO₂-emissiegetal. De gemiddelde toename van het CO₂-emissiegetal bij het toepassen van wintermengsels is 29%.

Tabel 7
CO₂-emissie standaard-/wintermengsels

CO ₂ -emissie (kg CO ₂ /m ³)		Toename (%)
<i>Standaard mengsel</i>	<i>Wintermengsel</i>	
Mengsel 1	131	27,5%
	134	27,6%
	137	27,7%
	132	27,3%
	135	27,4%
	138	27,5%
Mengsel 2	131	30,5%
	134	30,6%
	137	30,7%
	132	30,3%
	135	30,4%
Gemiddelde	138	30,4%
	134,5	29,0%

Opmerking: Aangepast overgenomen uit Mengselcodelijst door aannemer, 2017

BIJLAGE 2.1: MILIEUIMPACT VAN CEM I



CUR-Ontwerptool Groen beton

Hogeschool van Arnhem en Nijmegen

Ruitenberglaan 26

6826 CC Arnhem

Productinformatie

Standaard bouwplaats

Auteur: Maurice Franken

Aantal 0

elementen:

Hoeveelheid 500.00 m3

(m3):

Betonmengsel [Standaard bouwplaats](#) (zie details hieronder)

Transport Truckmixer, gemiddeld: 20 km

betonmengsel

naar

bouwplaats:

Transport Vrachtwagen (lege retourrit) (standaard): 0 km

element naar

bouwplaats:

Afvalpercentage 0.49 %

Betonmengsel CEM I

Auteur: Maurice Franken

Volumi 2346 kg/m3

massa:

Water 0.53

Bindm CEM-I NL - 318 kg

(Cat. 2)

Transport (gewicht):

Zeeschip 0 km

Binnenvaartschip 0 km

Vrachtwagen (lege

retourrit) 186

(standaard) km

Water: Leidingwater - 167 l

Energie: Energie - Elektriciteit -

2.23 kWh

Energie - Diesel - 0.99 l

Toeslag: Grind, rivier (NL) -

1061 kg (Cat. 2)

afval: 0.49 %

Transport (gewicht):

Zeeschip 51 km

Binnenvaartschip 239

km

Vrachtwagen (lege

retourrit) 10 km

(standaard)

Betonzand (NL) -

800 kg (Cat. 3)

afval: 0.49 %

Transport (gewicht):

Zeeschip 38 km

Binnenvaartschip 159

km

Vrachtwagen (lege

retourrit) 4 km

(standaard)

Vul-, geen

hulp-,

kleurstc

Bekisting: Ontkistingsmiddel, emulsie - 3 kg

1.00 % afval

Transport (gewicht):

Zeeschip 0 km

Binnenvaartschip 0 km

Vrachtwagen (lege retourrit) (standaard) 150 km

Bekisting - vuren hout - 2500 kg

4 x hergebruik

1.00 % afval

Transport (gewicht):

Zeeschip 0 km

Binnenvaartschip 0 km

Vrachtwagen (lege retourrit) (standaard) 150 km

Bekisting - multiplex - 2500 kg

4 x hergebruik

1.00 % afval

Transport (gewicht):

Zeeschip 0 km

Binnenvaartschip 0 km

Vrachtwagen (lege retourrit) (standaard) 150 km

Wapening & Wapeningsnet (FeB 500 HKN) - 48500 kg

staal: (Cat. 3)

afval: 1.00 %

Transport (gewicht):

Zeeschip 0 km

Binnenvaartschip 0 km

Vrachtwagen (lege retourrit) (standaard) 150 km

Overige geen

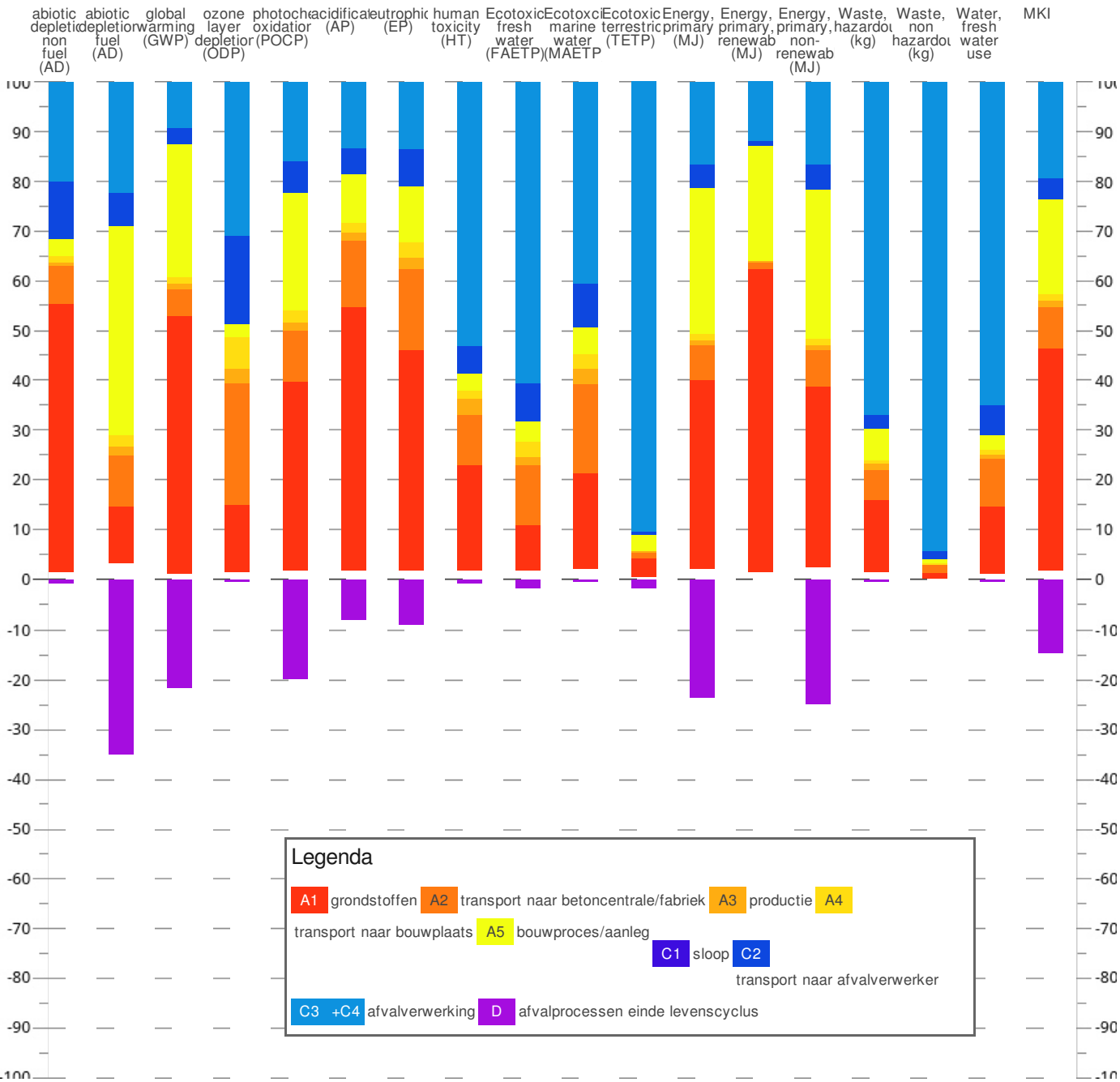
materialen:

Bouwplaatsprc Verdichten - met trilbalk - 500 m3 (Cat. 3)

0.00 %

Energie: Energie - Elektriciteit - 4000 kWh (Cat. 3)

impact (procentueel)



impact (fasen)

	Productie (A1-A3)	Transport naar de bouwplaats (A4)	Processen op de Sloop (C1) bouwplaats (A5)	Afvalverwerking einde levenscyclus (C2-C4)	Module D
abiotic depletion, non fuel (AD)	1.26E-1	3.07E-3	7.62E-3	6.54E-2	-1.59E-3
abiotic depletion, fuel (AD)	2.19E+2	2.17E+1	3.73E+2	2.60E+2	-3.11E+2
global warming (GWP)	1.50E+5	3.29E+3	7.01E+4	3.31E+4	-5.66E+4
ozone layer depletion (ODP)	3.10E-3	5.04E-4	2.04E-4	3.69E-3	-4.58E-5
photochemical oxidation (POCP)	4.69E+1	2.28E+0	2.22E+1	2.09E+1	-1.86E+1
acidification (AP)	5.69E+2	1.86E+1	8.40E+1	1.59E+2	-6.75E+1
eutrophication (EP)	8.59E+1	4.38E+0	1.58E+1	2.94E+1	-1.23E+1
human toxicity (HT)	1.47E+4	7.07E+2	1.48E+3	2.45E+4	-3.84E+2
Ecotoxicity, fresh water (FAETP)	3.10E+2	3.84E+1	5.62E+1	8.93E+2	-2.48E+1
Ecotoxicity, marine water (MAETP)	1.99E+6	1.61E+5	2.62E+5	2.40E+6	-3.83E+4
Ecotoxicity, terrestic (TETP)	1.83E+2	6.49E+0	1.19E+2	3.29E+3	-6.11E+1
Energy, primary (MJ)	1.41E+6	5.02E+4	9.08E+5	6.46E+5	-7.26E+5
Energy, primary, renewable (MJ)	1.08E+5	2.89E+2	4.00E+4	2.29E+4	-3.64E+2
Energy, primary, non-renewable (MJ)	1.30E+6	4.99E+4	8.68E+5	6.24E+5	-7.26E+5
Waste, hazardous (kg)	2.67E+4	6.36E+2	7.42E+3	8.17E+4	-9.84E+2
Waste, non hazardous (kg)	2.37E+3	2.29E+2	4.63E+2	8.69E+4	-2.89E+1
Water, fresh water use	3.99E+4	1.67E+3	5.63E+3	1.18E+5	-9.34E+2
MKI	1.22E+4	3.68E+2	4.25E+3	5.30E+3	-3.34E+3

impact (analyse top 10 MKI)



MKI totaal (in €): 18809.72

%	waarde	component	fase
45.82	9668.58	CEM-I NL	A1
18.75	3955.71	afvalproces Wapeningsnet (FeB 500 HKN)	C3
17.54	3701.35	Wapeningsnet (FeB 500 HKN)	A5
4.65	981.32	transport Grind, rivier (NL)	A2
4.42	933.55	transport afvalverwerking beton	C2
2.3	485.19	transport Betonzand (NL)	A2
2.21	466.08	transport CEM-I NL	A2
1.74	366.14	afvalverwerking beton	C3
1.37	288.64	Energie - Diesel	A3
1.21	256.20	Energie - Elektriciteit	A5

impact (analyse top 10 GWP)



GWP totaal (in (kg CO2 eq)): 199886.85

%	waarde	component	fase
52.94	1.306993038E+5	CEM-I NL	A1
25.496	2.94192376E+4	Wapeningsnet (FeB 500 HKN)	A5
8.84	2.181663925E+4	afvalproces Wapeningsnet (FeB 500 HKN)	C3
3.23	7.968019190E+3	transport afvalverwerking beton	C2
2.96	7.318527032E+3	transport Grind, rivier (NL)	A2
1.61	3.978057440E+3	transport CEM-I NL	A2
1.45	3.569733759E+3	transport Betonzand (NL)	A2
1.18	2.904724320E+3	Energie - Elektriciteit	A5
1.17	2.885925666E+3	afvalverwerking beton	C3
1.14	2.802740594E+3	Bekisting - multiplex	A5

BIJLAGE 2.2: MILIEUIMPACT VAN CEM II/B-V



CUR-Ontwerptool Groen beton

Hogeschool van Arnhem en Nijmegen

Ruitenberglaan 26

6826 CC Arnhem

Productinformatie

Standaard bouwplaats

Auteur: Maurice Franken

Aantal 0

elementen:

Hoeveelheid 500.00 m3

(m3):

Betonmengsel [Standaard bouwplaats](#) (zie details hieronder)

Transport Truckmixer, gemiddeld: 20 km

betonmengsel

naar

bouwplaats:

Transport Vrachtwagen (lege retourrit) (standaard): 0 km

element naar

bouwplaats:

Afvalpercentage 0.49 %

Betonmengsel CEM II/b-v

Auteur: Maurice Franken

Volumi 2346 kg/m3

massa:

Water 0.53

Bindmiddel CEM II / B-V

42.5 N - 318 kg

(Cat. 1)

Transport (gewicht):

Vrachtwagen (lege retourrit)	186 km
(standaard)	km

Water: Leidingwater - 167 l

Energie: Energie - Elektriciteit -

2.23 kWh

Energie - Diesel - 0.99 l

Toeslag: Grind, rivier (NL) -

1061 kg (Cat. 2)

afval: 0.49 %

Transport (gewicht):

Zeeschip	51 km
Binnenvaartschip	239 km

Vrachtwagen (lege retourrit)	10 km
(standaard)	km

Betonzand (NL) -

800 kg (Cat. 3)

afval: 0.49 %

Transport (gewicht):

Zeeschip	38 km
Binnenvaartschip	159 km
Vrachtwagen (lege retourrit)	4 km
(standaard)	km

Vul-, geen

hulp-,

kleurstc

Bekisting: Ontkistingsmiddel, emulsie - 3 kg

1.00 % afval

Transport (gewicht):

Zeeschip	0 km
Binnenvaartschip	0 km

Vrachtwagen (lege retourrit) (standaard)	150 km
--	--------

Bekisting - vuren hout - 2500 kg

4 x hergebruik

1.00 % afval

Transport (gewicht):

Zeeschip	0 km
Binnenvaartschip	0 km

Vrachtwagen (lege retourrit) (standaard)	150 km
--	--------

Bekisting - multiplex - 2500 kg

4 x hergebruik

1.00 % afval

Transport (gewicht):

Zeeschip	0 km
Binnenvaartschip	0 km

Vrachtwagen (lege retourrit) (standaard)	150 km
--	--------

Wapening & Wapeningsnet (FeB 500 HKN) - 48500 kg

staal: (Cat. 3)

afval: 1.00 %

Transport (gewicht):

Zeeschip	0 km
Binnenvaartschip	0 km

Vrachtwagen (lege retourrit) (standaard)	150 km
--	--------

Overige geen

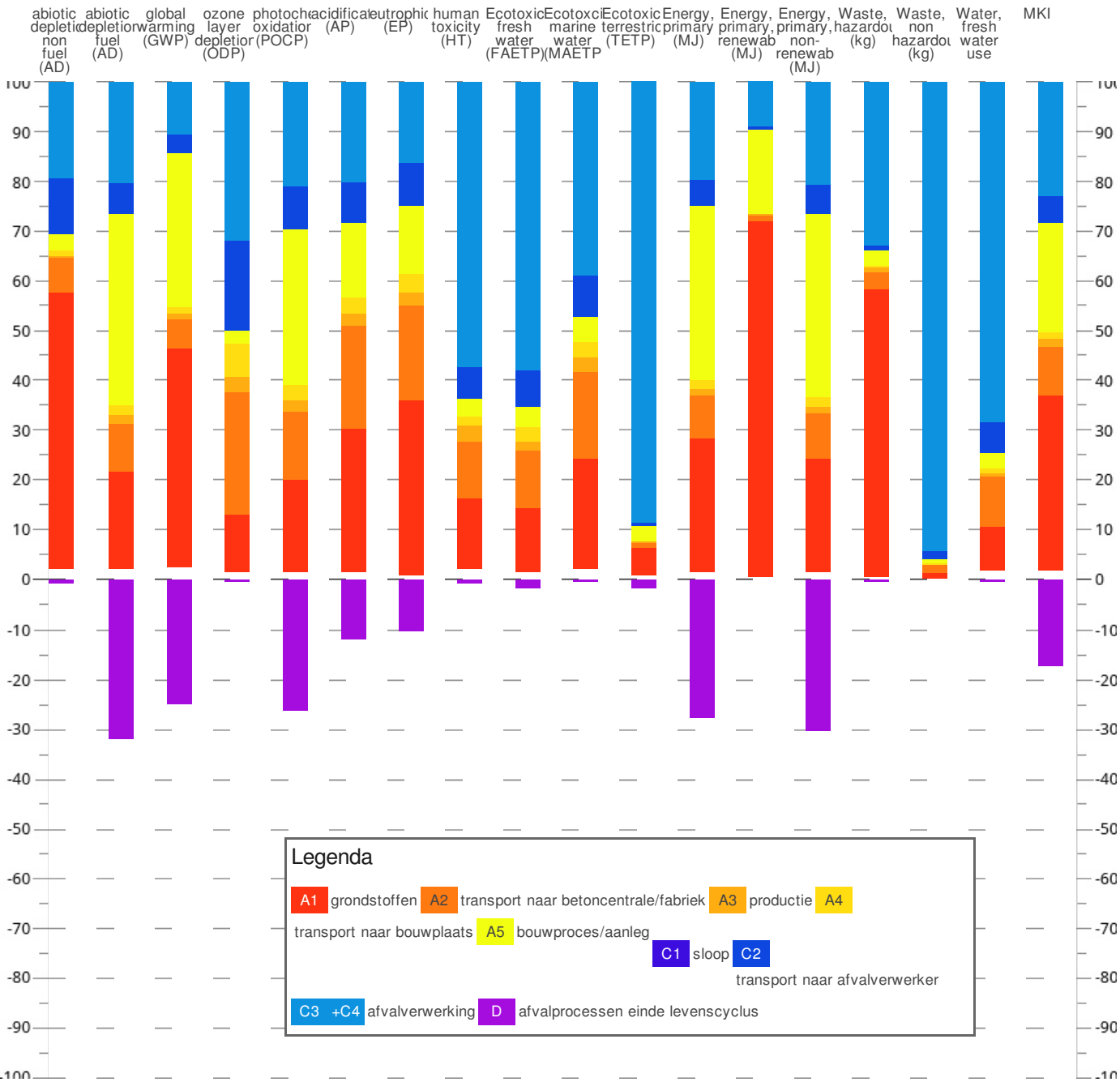
materialen:

Bouwplaatsprc Verdichten - met trilbalk - 500 m3 (Cat. 3)

0.00 %

Energie: Energie - Elektriciteit - 4000 kWh (Cat. 3)

impact (procentueel)



impact (fasen)	Productie (A1-A3)	Transport naar de bouwplaats (A4)	Processen op de Sloop (C1) bouwplaats (A5)	Afvalverwerking einde levenscyclus (C2-C4)	Module D
abiotic depletion, non fuel (AD)	1.34E-1	3.07E-3	7.62E-3	6.54E-2	-1.59E-3
abiotic depletion, fuel (AD)	3.00E+2	2.17E+1	3.73E+2	2.60E+2	-3.11E+2
global warming (GWP)	1.15E+5	3.29E+3	7.01E+4	3.31E+4	-5.66E+4
ozone layer depletion (ODP)	2.96E-3	5.04E-4	2.04E-4	3.69E-3	-4.58E-5
photochemical oxidation (POCP)	2.45E+1	2.28E+0	2.22E+1	2.09E+1	-1.86E+1
acidification (AP)	2.89E+2	1.86E+1	8.40E+1	1.59E+2	-6.75E+1
eutrophication (EP)	6.63E+1	4.38E+0	1.58E+1	2.94E+1	-1.23E+1
human toxicity (HT)	1.15E+4	7.07E+2	1.48E+3	2.45E+4	-3.84E+2
Ecotoxicity, fresh water (FAETP)	3.65E+2	3.84E+1	5.62E+1	8.93E+2	-2.48E+1
Ecotoxicity, marine water (MAETP)	2.20E+6	1.61E+5	2.62E+5	2.40E+6	-3.83E+4
Ecotoxicity, terrestic (TETP)	2.45E+2	6.49E+0	1.19E+2	3.29E+3	-6.11E+1
Energy, primary (MJ)	9.60E+5	5.02E+4	9.08E+5	6.46E+5	-7.26E+5
Energy, primary, renewable (MJ)	1.68E+5	2.89E+2	4.00E+4	2.29E+4	-3.64E+2
Energy, primary, non-renewable (MJ)	7.92E+5	4.99E+4	8.68E+5	6.24E+5	-7.26E+5
Waste, hazardous (kg)	1.47E+5	6.36E+2	7.42E+3	8.17E+4	-9.84E+2
Waste, non hazardous (kg)	2.36E+3	2.29E+2	4.63E+2	8.69E+4	-2.89E+1
Water, fresh water use	3.15E+4	1.67E+3	5.63E+3	1.18E+5	-9.34E+2
MKI	8.88E+3	3.68E+2	4.25E+3	5.30E+3	-3.34E+3



MKI totaal (in €): 15467.58

%	waarde	component	fase
35.62	6326.44	ENCI_CEM II / B-V 42.5 N	A1
22.27	3955.71	afvalproces Wapeningsnet (FeB 500 HKN)	C3
20.84	3701.35	Wapeningsnet (FeB 500 HKN)	A5
5.53	981.32	transport Grind, rivier (NL)	A2
5.26	933.55	transport afvalverwerking beton	C2
2.73	485.19	transport Betonzand (NL)	A2
2.62	466.08	transport ENCI_CEM II / B-V 42.5 N	A2
2.06	366.14	afvalverwerking beton	C3
1.63	288.64	Energie - Diesel	A3
1.44	256.20	Energie - Elektriciteit	A5



GWP totaal (in (kg CO2 eq): 164831.07

%	waarde	component	fase
45.159	564352799E+4	ENCI_CEM II / B-V 42.5 N	A1
29.716	294192376E+4	Wapeningsnet (FeB 500 HKN)	A5
10.3	2181663925E+4	afvalproces Wapeningsnet (FeB 500 HKN)	C3
3.76	7968019190E+3	transport afvalverwerking beton	C2
3.45	7318527032E+3	transport Grind, rivier (NL)	A2
1.88	3978057440E+3	transport ENCI_CEM II / B-V 42.5 N	A2
1.69	3569733759E+3	transport Betonzand (NL)	A2
1.37	2904724320E+3	Energie - Elektriciteit	A5
1.36	2885925666E+3	afvalverwerking beton	C3
1.32	2802740594E+3	Bekisting - multiplex	A5

BIJLAGE 2.3: MILIEUIMPACT VAN CEM III/A



CUR-Ontwerptool Groen beton

Hogeschool van Arnhem en Nijmegen

Ruitenberglaan 26

6826 CC Arnhem

Productinformatie

Standaard bouwplaats

Auteur: Maurice Franken

Aantal 0

elementen:

Hoeveelheid 500.00 m3

(m3):

Betonmengsel [Standaard bouwplaats](#) (zie details hieronder)

Transport Truckmixer, gemiddeld: 20 km

betonmengsel

naar

bouwplaats:

Transport Vrachtwagen (lege retourrit) (standaard): 0 km

element naar

bouwplaats:

Afvalpercentage 0.49 %

Betonmengsel CEM III/a

Auteur: Maurice Franken

Volumi 2346 kg/m3

massa:

Water 0.53

Bindmiddel CEM III-A NL - 318

kg (Cat. 3)

Transport (gewicht):

Zeeschip 0 km

Binnenvaartschip 0 km

Vrachtwagen (lege

retourrit) 186

(standaard) km

Water: Leidingwater - 167 l

Energie: Energie - Elektriciteit -

2.23 kWh

Energie - Diesel - 0.99 l

Toeslag: Grind, rivier (NL) -

1061 kg (Cat. 2)

afval: 0.49 %

Transport (gewicht):

Zeeschip 51 km

Binnenvaartschip 239

km

Vrachtwagen (lege

retourrit) 10 km

(standaard)

Betonzand (NL) -

800 kg (Cat. 3)

afval: 0.49 %

Transport (gewicht):

Zeeschip 38 km

Binnenvaartschip 159

km

Vrachtwagen (lege

retourrit) 4 km

(standaard)

Vul-, geen

hulp-,

kleurst

Bekisting: Ontkistingsmiddel, emulsie - 3 kg

1.00 % afval

Transport (gewicht):

Zeeschip 0 km

Binnenvaartschip 0 km

Vrachtwagen (lege retourrit) (standaard) 150 km

Bekisting - vuren hout - 2500 kg

4 x hergebruik

1.00 % afval

Transport (gewicht):

Zeeschip 0 km

Binnenvaartschip 0 km

Vrachtwagen (lege retourrit) (standaard) 150 km

Bekisting - multiplex - 2500 kg

4 x hergebruik

1.00 % afval

Transport (gewicht):

Zeeschip 0 km

Binnenvaartschip 0 km

Vrachtwagen (lege retourrit) (standaard) 150 km

Wapening & Wapeningsnet (FeB 500 HKN) - 48500 kg

staal: (Cat. 3)

afval: 1.00 %

Transport (gewicht):

Zeeschip 0 km

Binnenvaartschip 0 km

Vrachtwagen (lege retourrit) (standaard) 150 km

Overige geen

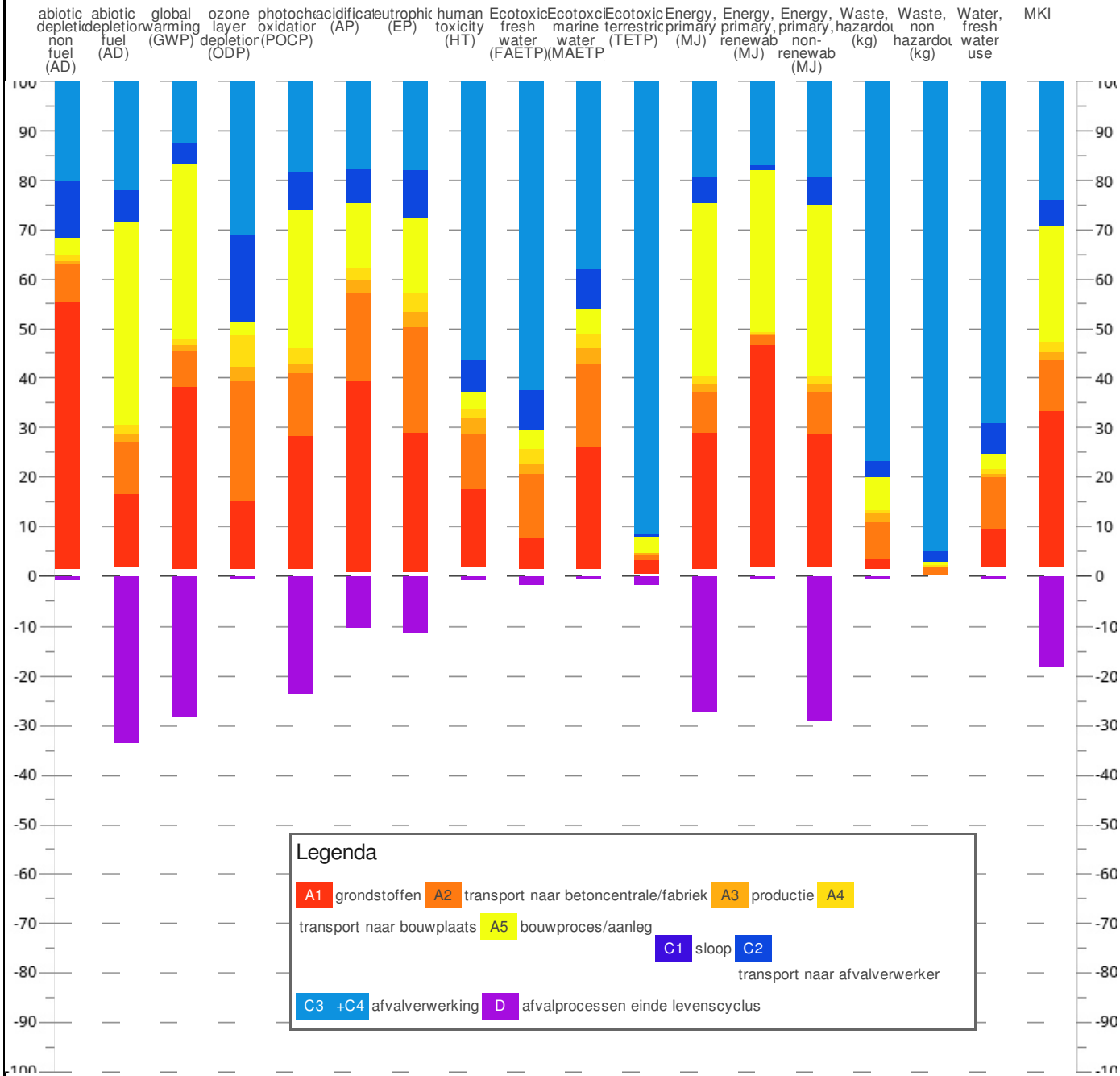
materialen:

Bouwplaatsprofiel Verdichten - met trilbalk - 500 m3 (Cat. 3)

0.00 %

Energie: Energie - Elektriciteit - 4000 kWh (Cat. 3)

impact (procentueel)

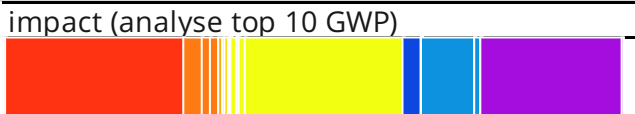


impact (fasen)	Productie (A1-A3)	Transport naar de bouwplaats (A4)	Processen op de Sloop (C1) bouwplaats (A5)	Afvalverwerking einde levenscyclus (C2-C4)	Module D
abiotic depletion, non fuel (AD)	1.27E-1	3.07E-3	7.62E-3	6.54E-2	-1.59E-3
abiotic depletion, fuel (AD)	2.51E+2	2.17E+1	3.73E+2	2.60E+2	-3.11E+2
global warming (GWP)	9.00E+4	3.29E+3	7.01E+4	3.31E+4	-5.66E+4
ozone layer depletion (ODP)	3.13E-3	5.04E-4	2.04E-4	3.69E-3	-4.58E-5
photochemical oxidation (POCP)	3.26E+1	2.28E+0	2.22E+1	2.09E+1	-1.86E+1
acidification (AP)	3.73E+2	1.86E+1	8.40E+1	1.59E+2	-6.75E+1
eutrophication (EP)	5.58E+1	4.38E+0	1.58E+1	2.94E+1	-1.23E+1
human toxicity (HT)	1.21E+4	7.07E+2	1.48E+3	2.45E+4	-3.84E+2
Ecotoxicity, fresh water (FAETP)	2.70E+2	3.84E+1	5.62E+1	8.93E+2	-2.48E+1
Ecotoxicity, marine water (MAETP)	2.34E+6	1.61E+5	2.62E+5	2.40E+6	-3.83E+4
Ecotoxicity, terrestic (TETP)	1.47E+2	6.49E+0	1.19E+2	3.29E+3	-6.11E+1
Energy, primary (MJ)	9.84E+5	5.02E+4	9.08E+5	6.46E+5	-7.26E+5
Energy, primary, renewable (MJ)	5.81E+4	2.89E+2	4.00E+4	2.29E+4	-3.64E+2
Energy, primary, non-renewable (MJ)	9.26E+5	4.99E+4	8.68E+5	6.24E+5	-7.26E+5
Waste, hazardous (kg)	1.21E+4	6.36E+2	7.42E+3	8.17E+4	-9.84E+2
Waste, non hazardous (kg)	1.54E+3	2.29E+2	4.63E+2	8.69E+4	-2.89E+1
Water, fresh water use	3.00E+4	1.67E+3	5.63E+3	1.18E+5	-9.34E+2
MKI	7.94E+3	3.68E+2	4.25E+3	5.30E+3	-3.34E+3



MKI totaal (in €): 14526.44

%	waarde	component	fase
32.02	5385.30	CEM III-A NL	A1
23.52	3955.71	afvalproces Wapeningsnet (FeB 500 HKN)	C3
22.01	3701.35	Wapeningsnet (FeB 500 HKN)	A5
5.83	981.32	transport Grind, rivier (NL)	A2
5.55	933.55	transport afvalverwerking beton	C2
2.88	485.19	transport Betonzand (NL)	A2
2.77	466.08	transport CEM III-A NL	A2
2.18	366.14	afvalverwerking beton	C3
1.72	288.64	Energie - Diesel	A3
1.52	256.20	Energie - Elektriciteit	A5



GWP totaal (in (kg CO2 eq): 139835.47

%	waarde	component	fase
37.817	0.64792686E+4	CEM III-A NL	A1
33.696	2.94192376E+4	Wapeningsnet (FeB 500 HKN)	A5
11.682	1.81663925E+4	afvalproces Wapeningsnet (FeB 500 HKN)	C3
4.26	7.968019190E+3	transport afvalverwerking beton	C2
3.92	7.318527032E+3	transport Grind, rivier (NL)	A2
2.13	3.978057440E+3	transport CEM III-A NL	A2
1.91	3.569733759E+3	transport Betonzand (NL)	A2
1.55	2.904724320E+3	Energie - Elektriciteit	A5
1.54	2.885925666E+3	afvalverwerking beton	C3
1.5	2.802740594E+3	Bekisting - multiplex	A5

BIJLAGE 2.4: MILIEUIMPACT VAN CEM III/B



CUR-Ontwerptool Groen beton

Hogeschool van Arnhem en Nijmegen

Ruitenberglaan 26

6826 CC Arnhem

Productinformatie

Standaard bouwplaats

Auteur: Maurice Franken

Aantal 0

elementen:

Hoeveelheid 500.00 m3

(m3):

Betonmengsel [Standaard bouwplaats](#) (zie details hieronder)

Transport Truckmixer, gemiddeld: 20 km

betonmengsel

naar

bouwplaats:

Transport Vrachtwagen (lege retourrit) (standaard): 0 km

element naar

bouwplaats:

Afvalpercentage 0.49 %

Betonmengsel CEM III/b 42,5

Auteur: Maurice Franken

Toeslag: Grind, rivier (NL) -

Volumi 2346 kg/m3

1061 kg (Cat. 2)

massa:

afval: 0.49 %

Water 0.53

Transport (gewicht):

Bindmiddel CEM III-B NL - 318

Zeeschip 51 km

kg (Cat. 3)

Binnenvaartschip 239 km

Transport (gewicht):

Zeeschip 0 km

Binnenvaartschip 0 km

Vrachtwagen (lege

retourrit) 186 km

(standaard)

Vrachtwagen (lege

retourrit) 10 km

(standaard)

Betonzand (NL) -

800 kg (Cat. 3)

afval: 0.49 %

Transport (gewicht):

Zeeschip 38 km

Binnenvaartschip 159 km

Vrachtwagen (lege

retourrit) 4 km

(standaard)

Vul-, geen

hulp-,

kleurstc

Bekisting: Ontkistingsmiddel, emulsie - 3 kg

1.00 % afval

Transport (gewicht):

Zeeschip 0 km

Binnenvaartschip 0 km

Vrachtwagen (lege retourrit) (standaard) 150 km

Bekisting - vuren hout - 2500 kg

4 x hergebruik

1.00 % afval

Transport (gewicht):

Zeeschip 0 km

Binnenvaartschip 0 km

Vrachtwagen (lege retourrit) (standaard) 150 km

Bekisting - multiplex - 2500 kg

4 x hergebruik

1.00 % afval

Transport (gewicht):

Zeeschip 0 km

Binnenvaartschip 0 km

Vrachtwagen (lege retourrit) (standaard) 150 km

Wapening & Wapeningsnet (FeB 500 HKN) - 48500 kg

staal: (Cat. 3)

afval: 1.00 %

Transport (gewicht):

Zeeschip 0 km

Binnenvaartschip 0 km

Vrachtwagen (lege retourrit) (standaard) 150 km

Overige geen

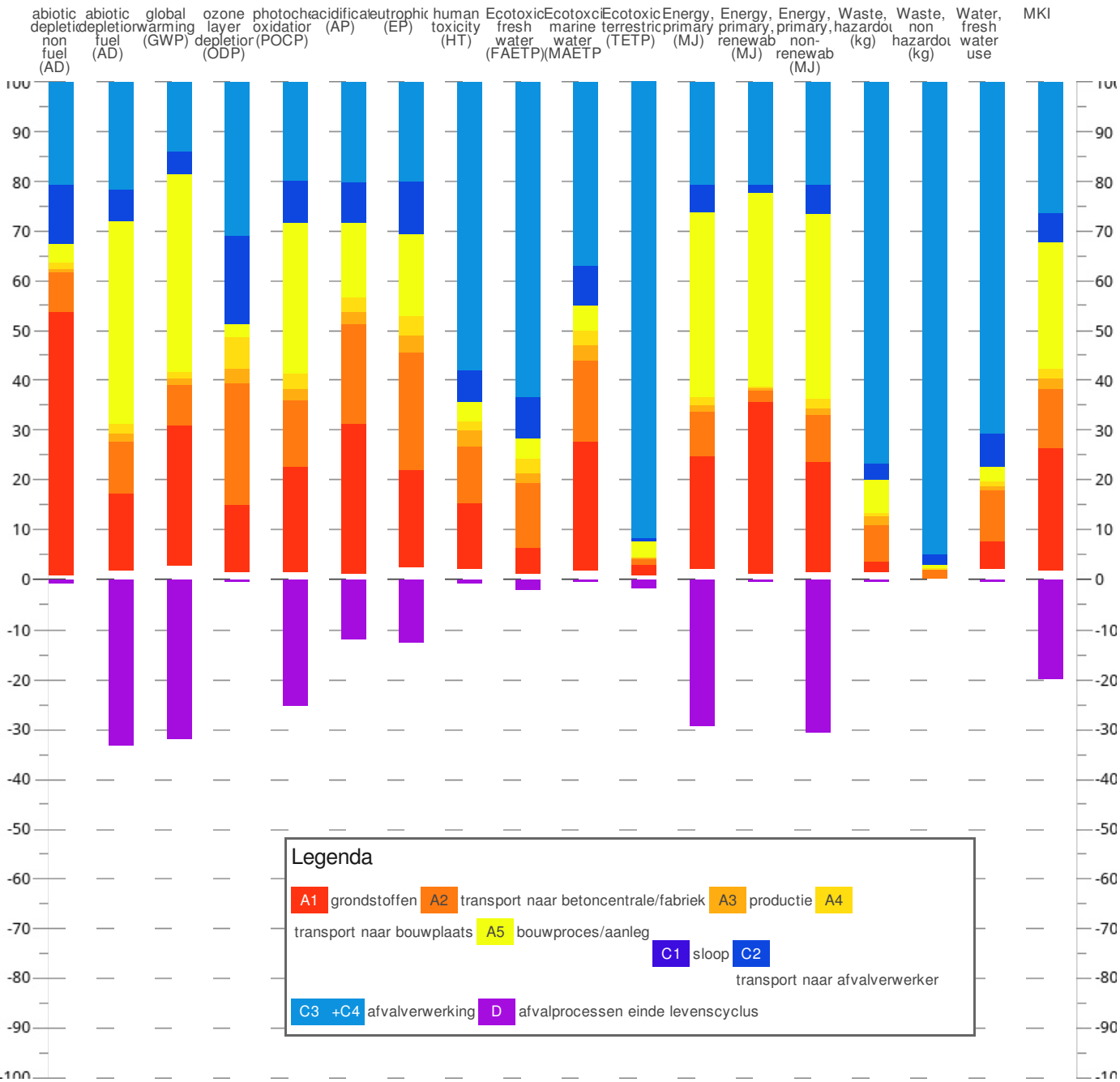
materialen:

Bouwplaatsprc Verdichten - met trilbalk - 500 m3 (Cat. 3)

0.00 %

Energie: Energie - Elektriciteit - 4000 kWh (Cat. 3)

impact (procentueel)

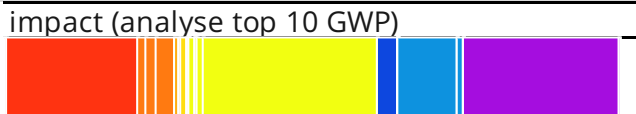


impact (fasen)	Productie (A1-A3)	Transport naar de bouwplaats (A4)	Processen op de Sloop (C1) bouwplaats (A5)	Afvalverwerking einde levenscyclus (C2-C4)	Module D
abiotic depletion, non fuel (AD)	1.22E-1	3.07E-3	7.62E-3	6.54E-2	-1.59E-3
abiotic depletion, fuel (AD)	2.57E+2	2.17E+1	3.73E+2	2.60E+2	-3.11E+2
global warming (GWP)	6.70E+4	3.29E+3	7.01E+4	3.31E+4	-5.66E+4
ozone layer depletion (ODP)	3.10E-3	5.04E-4	2.04E-4	3.69E-3	-4.58E-5
photochemical oxidation (POCP)	2.70E+1	2.28E+0	2.22E+1	2.09E+1	-1.86E+1
acidification (AP)	2.97E+2	1.86E+1	8.40E+1	1.59E+2	-6.75E+1
eutrophication (EP)	4.45E+1	4.38E+0	1.58E+1	2.94E+1	-1.23E+1
human toxicity (HT)	1.10E+4	7.07E+2	1.48E+3	2.45E+4	-3.84E+2
Ecotoxicity, fresh water (FAETP)	2.54E+2	3.84E+1	5.62E+1	8.93E+2	-2.48E+1
Ecotoxicity, marine water (MAETP)	2.42E+6	1.61E+5	2.62E+5	2.40E+6	-3.83E+4
Ecotoxicity, terrestic (TETP)	1.32E+2	6.49E+0	1.19E+2	3.29E+3	-6.11E+1
Energy, primary (MJ)	8.12E+5	5.02E+4	9.08E+5	6.46E+5	-7.26E+5
Energy, primary, renewable (MJ)	3.92E+4	2.89E+2	4.00E+4	2.29E+4	-3.64E+2
Energy, primary, non-renewable (MJ)	7.73E+5	4.99E+4	8.68E+5	6.24E+5	-7.26E+5
Waste, hazardous (kg)	1.21E+4	6.36E+2	7.42E+3	8.17E+4	-9.84E+2
Waste, non hazardous (kg)	1.54E+3	2.29E+2	4.63E+2	8.69E+4	-2.89E+1
Water, fresh water use	2.63E+4	1.67E+3	5.63E+3	1.18E+5	-9.34E+2
MKI	6.28E+3	3.68E+2	4.25E+3	5.30E+3	-3.34E+3



MKI totaal (in €): 12870.6

%	waarde	component	fase
26.09	3955.71	afvalproces Wapeningsnet (FeB 500 HKN)	C3
24.59	3729.47	CEM III-B NL	A1
24.41	3701.35	Wapeningsnet (FeB 500 HKN)	A5
6.47	981.32	transport Grind, rivier (NL)	A2
6.16	933.55	transport afvalverwerking beton	C2
3.2	485.19	transport Betonzand (NL)	A2
3.07	466.08	transport CEM III-B NL	A2
2.41	366.14	afvalverwerking beton	C3
1.9	288.64	Energie - Diesel	A3
1.69	256.20	Energie - Elektriciteit	A5



GWP totaal (in (kg CO2 eq): 116814.5

%	waarde	component	fase
38.426	294192376E+4	Wapeningsnet (FeB 500 HKN)	A5
29.074	762695413E+4	CEM III-B NL	A1
13.322	181663925E+4	afvalproces Wapeningsnet (FeB 500 HKN)	C3
4.86	7.968019190E+3	transport afvalverwerking beton	C2
4.47	7.318527032E+3	transport Grind, rivier (NL)	A2
2.43	3.978057440E+3	transport CEM III-B NL	A2
2.18	3.569733759E+3	transport Betonzand (NL)	A2
1.77	2.904724320E+3	Energie - Elektriciteit	A5
1.76	2.885925666E+3	afvalverwerking beton	C3
1.71	2.802740594E+3	Bekisting - multiplex	A5

BIJLAGE 2.5: MILIEUIMPACT VAN CEM V



CUR-Ontwerptool Groen beton

Hogeschool van Arnhem en Nijmegen

Ruitenberglaan 26

6826 CC Arnhem

Productinformatie

Standaard bouwplaats

Auteur: Maurice Franken

Aantal 0

elementen:

Hoeveelheid 500.00 m3

(m3):

Betonmengsel [Standaard bouwplaats](#) (zie details hieronder)

Transport Truckmixer, gemiddeld: 20 km

betonmengsel

naar

bouwplaats:

Transport Vrachtwagen (lege retourrit) (standaard): 0 km

element naar

bouwplaats:

Afvalpercentage 0.49 %

Betonmengsel CEM V

Auteur: Maurice Franken

Volumi 2346 kg/m3

massa:

Water 0.53

Bindmiddel CEM V / A

42.5 N - 318 kg

(Cat. 1)

Transport (gewicht):

Vrachtwagen (lege retourrit)	186 km
(standaard)	km

Water: Leidingwater - 167 l

Energie: Energie - Elektriciteit -

2.23 kWh

Energie - Diesel - 0.99 l

Toeslag: Grind, rivier (NL) -

1061 kg (Cat. 2)

afval: 0.49 %

Transport (gewicht):

Zeeschip	51 km
Binnenvaartschip	239 km

Vrachtwagen (lege retourrit)	10 km
(standaard)	km

Betonzand (NL) -

800 kg (Cat. 3)

afval: 0.49 %

Transport (gewicht):

Zeeschip	38 km
Binnenvaartschip	159 km
Vrachtwagen (lege retourrit)	4 km
(standaard)	km

Vul-, geen

hulp-,

kleurstc

Bekisting: Ontkistingsmiddel, emulsie - 3 kg

1.00 % afval

Transport (gewicht):

Zeeschip	0 km
Binnenvaartschip	0 km

Vrachtwagen (lege retourrit) (standaard)	150 km
--	--------

Bekisting - vuren hout - 2500 kg

4 x hergebruik

1.00 % afval

Transport (gewicht):

Zeeschip	0 km
Binnenvaartschip	0 km

Vrachtwagen (lege retourrit) (standaard)	150 km
--	--------

Bekisting - multiplex - 2500 kg

4 x hergebruik

1.00 % afval

Transport (gewicht):

Zeeschip	0 km
Binnenvaartschip	0 km

Vrachtwagen (lege retourrit) (standaard)	150 km
--	--------

Wapening & Wapeningsnet (FeB 500 HKN) - 48500 kg

staal: (Cat. 3)

afval: 1.00 %

Transport (gewicht):

Zeeschip	0 km
Binnenvaartschip	0 km

Vrachtwagen (lege retourrit) (standaard)	150 km
--	--------

Overige geen

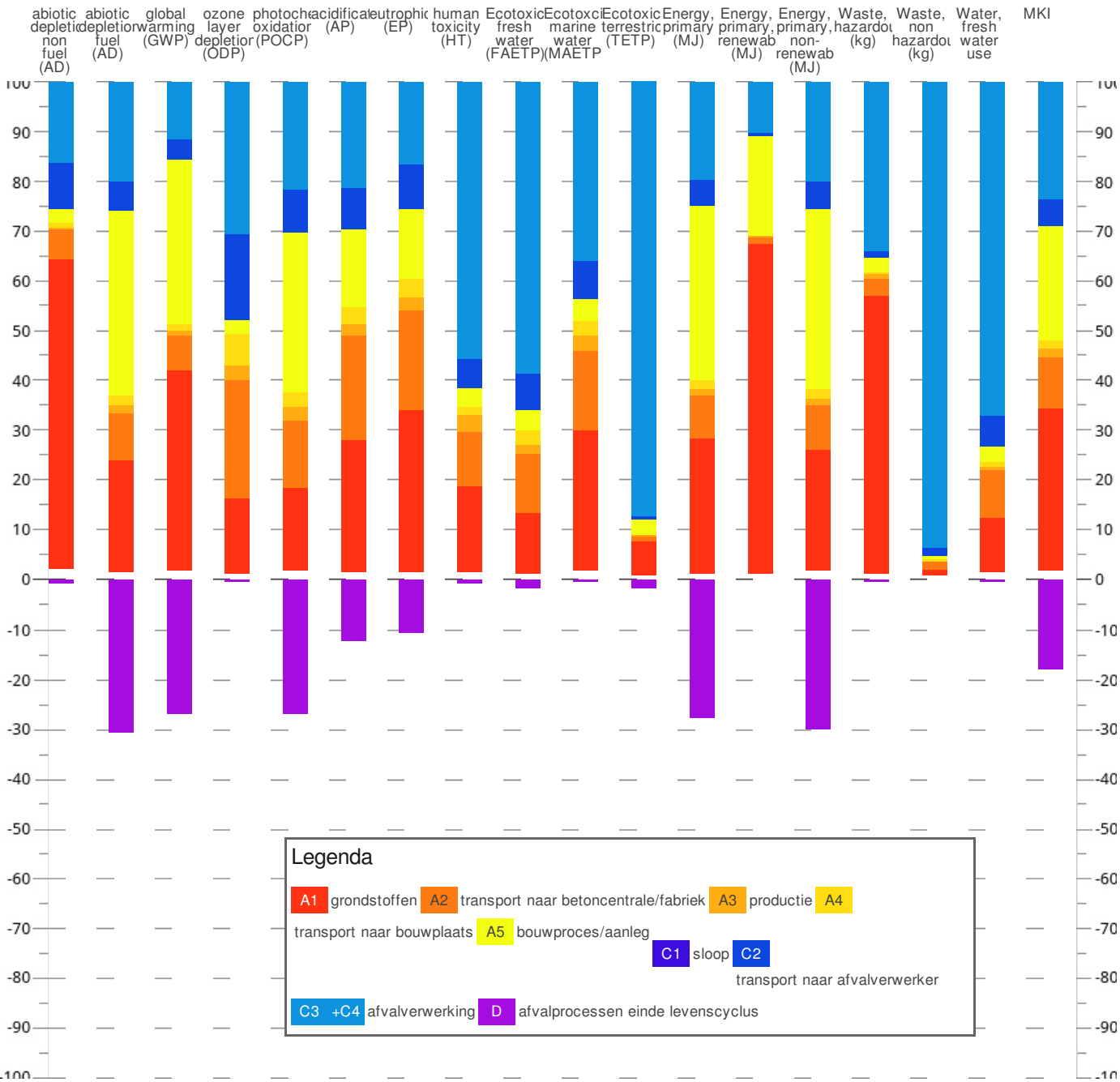
materialen:

Bouwplaatsprc Verdichten - met trilbalk - 500 m3 (Cat. 3)

0.00 %

Energie: Energie - Elektriciteit - 4000 kWh (Cat. 3)

impact (procentueel)

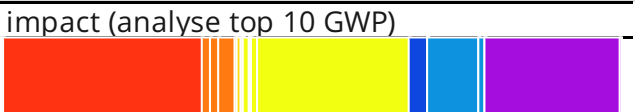


impact (fasen)	Productie (A1-A3)	Transport naar de bouwplaats (A4)	Processen op de Sloop (C1) bouwplaats (A5)	Afvalverwerking einde levenscyclus (C2-C4)	Module D
abiotic depletion, non fuel (AD)	1.72E-1	3.07E-3	7.62E-3	6.54E-2	-1.59E-3
abiotic depletion, fuel (AD)	3.36E+2	2.17E+1	3.73E+2	2.60E+2	-3.11E+2
global warming (GWP)	1.01E+5	3.29E+3	7.01E+4	3.31E+4	-5.66E+4
ozone layer depletion (ODP)	3.25E-3	5.04E-4	2.04E-4	3.69E-3	-4.58E-5
photochemical oxidation (POCP)	2.30E+1	2.28E+0	2.22E+1	2.09E+1	-1.86E+1
acidification (AP)	2.70E+2	1.86E+1	8.40E+1	1.59E+2	-6.75E+1
eutrophication (EP)	6.23E+1	4.38E+0	1.58E+1	2.94E+1	-1.23E+1
human toxicity (HT)	1.27E+4	7.07E+2	1.48E+3	2.45E+4	-3.84E+2
Ecotoxicity, fresh water (FAETP)	3.55E+2	3.84E+1	5.62E+1	8.93E+2	-2.48E+1
Ecotoxicity, marine water (MAETP)	2.61E+6	1.61E+5	2.62E+5	2.40E+6	-3.83E+4
Ecotoxicity, terrestic (TETP)	3.07E+2	6.49E+0	1.19E+2	3.29E+3	-6.11E+1
Energy, primary (MJ)	9.71E+5	5.02E+4	9.08E+5	6.46E+5	-7.26E+5
Energy, primary, renewable (MJ)	1.34E+5	2.89E+2	4.00E+4	2.29E+4	-3.64E+2
Energy, primary, non-renewable (MJ)	8.37E+5	4.99E+4	8.68E+5	6.24E+5	-7.26E+5
Waste, hazardous (kg)	1.37E+5	6.36E+2	7.42E+3	8.17E+4	-9.84E+2
Waste, non hazardous (kg)	2.61E+3	2.29E+2	4.63E+2	8.69E+4	-2.89E+1
Water, fresh water use	3.50E+4	1.67E+3	5.63E+3	1.18E+5	-9.34E+2
MKI	8.23E+3	3.68E+2	4.25E+3	5.30E+3	-3.34E+3



MKI totaal (in €): 14820.2

%	waarde	component	fase
33.19	5679.06	ENCI_CEM V / A 42.5 N	A1
23.11	3955.71	afvalproces Wapeningsnet (FeB 500 HKN)	C3
21.63	3701.35	Wapeningsnet (FeB 500 HKN)	A5
5.73	981.32	transport Grind, rivier (NL)	A2
5.46	933.55	transport afvalverwerking beton	C2
2.84	485.19	transport Betonzand (NL)	A2
2.72	466.08	transport ENCI_CEM V / A 42.5 N	A2
2.14	366.14	afvalverwerking beton	C3
1.69	288.64	Energie - Diesel	A3
1.5	256.20	Energie - Elektriciteit	A5



GWP totaal (in (kg CO2 eq): 151148.55

%	waarde	component	fase
41.368	196100774E+4	ENCI_CEM V / A 42.5 N	A1
31.776	294192376E+4	Wapeningsnet (FeB 500 HKN)	A5
11.012	181663925E+4	afvalproces Wapeningsnet (FeB 500 HKN)	C3
4.02	7.968019190E+3	transport afvalverwerking beton	C2
3.69	7.318527032E+3	transport Grind, rivier (NL)	A2
2.01	3.978057440E+3	transport ENCI_CEM V / A 42.5 N	A2
1.8	3.569733759E+3	transport Betonzand (NL)	A2
1.47	2.904724320E+3	Energie - Elektriciteit	A5
1.46	2.885925666E+3	afvalverwerking beton	C3
1.41	2.802740594E+3	Bekisting - multiplex	A5

BIJLAGE 2.6: MILIEUIMPACT VAN DE GEMIDDELDE BETONMORTEL

Productinformatie

Standaard bouwplaats

Auteur: Maurice Franken
Aantal 0
elementen:
Hoeveelheid 500.00 m3
(m3):
Betonmengsel [Standaard bouwplaats](#) (zie details hieronder)
Transport Truckmixer, gemiddeld: 20 km
betonmengsel
naar
bouwplaats:
Transport Vrachtwagen (lege retourrit) (standaard): 0 km
element naar
bouwplaats:
Afvalpercentag 0.49 %

Gemiddeld betonmengsel

Auteur: Maurice Franken
Volumi 2346 kg/m3
massa:
Water 0.54
Beschr
Gemiddelde
samenstelling Nederlands
betonmortel
Bindmi- kg ()
CEM-I NL - 59 kg
(Cat. 2)
Transport (gewicht):
Zeeschip 0 km
Binnenvaartschip 0 km
Vrachtwagen (lege
retourrit) 186
(standaard) km
CEM III-B NL - 253
kg (Cat. 3)
Transport (gewicht):
Zeeschip 0 km
Binnenvaartschip 0 km
Vrachtwagen (lege
retourrit) 186
(standaard) km
Water: Leidingwater - 167 l
Energie: Energie - Elektriciteit -
2.23 kWh
Energie - Diesel - 0.99 l

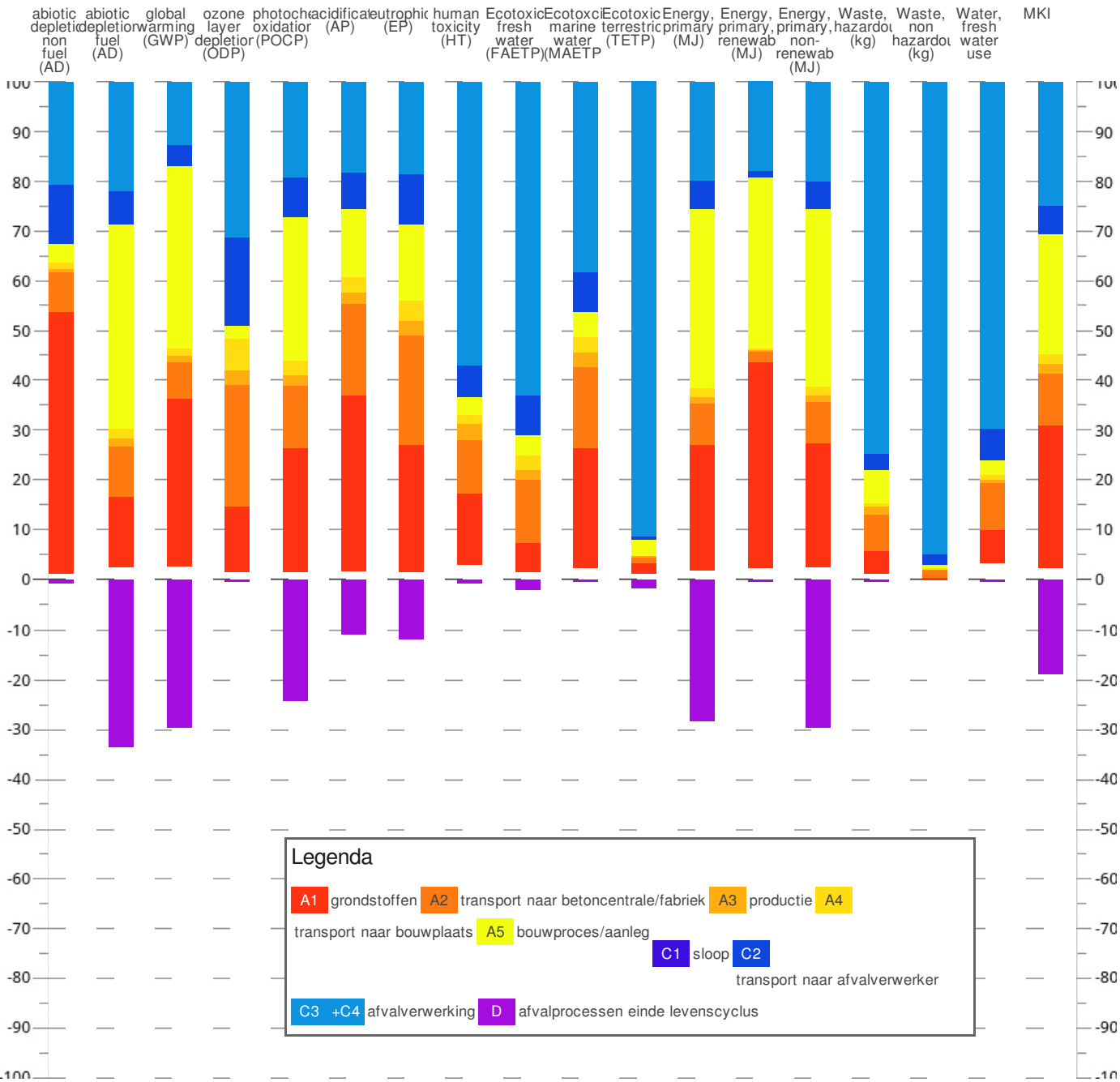
Toesla: Grind, rivier (NL) -
1034 kg (Cat. 2)
afval: 0.49 %
Transport (gewicht):
Zeeschip 51 km
Binnenvaartschip 239
km
Vrachtwagen (lege
retourrit) 10 km
(standaard)
Betonzand (NL) -
787 kg (Cat. 3)
afval: 0.49 %
Transport (gewicht):
Zeeschip 38 km
Binnenvaartschip 159
km
Vrachtwagen (lege
retourrit) 4 km
(standaard)
Betongranulaat, grof
- 40 kg (Cat. 2)
afval: 0.49 %
Transport (gewicht):
Zeeschip 0 km
Binnenvaartschip 0 km
Vrachtwagen (lege
retourrit) 30 km
(standaard)

Vul-, Poederkoolvliegias -
hulp-, 6 kg (Cat. 2)
kleurstrafval: 0.49 %
Transport (gewicht):
Zeeschip 0 km
Binnenvaartschip 0 km
Vrachtwagen (lege
retourrit) 150
(standaard) km
- kg ()

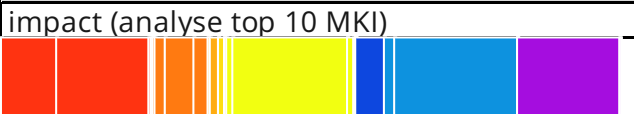
Bekisting: Ontkistingsmiddel, emulsie - 3 kg
1.00 % afval
Transport (gewicht):
Zeeschip 0 km
Binnenvaartschip 0 km
Vrachtwagen (lege retourrit) (standaard) 150 km
Bekisting - vurenhout - 2500 kg
4 x hergebruik
1.00 % afval
Transport (gewicht):
Zeeschip 0 km
Binnenvaartschip 0 km
Vrachtwagen (lege retourrit) (standaard) 150 km
Bekisting - multiplex - 2500 kg
4 x hergebruik
1.00 % afval
Transport (gewicht):
Zeeschip 0 km
Binnenvaartschip 0 km
Vrachtwagen (lege retourrit) (standaard) 150 km
Wapening & Wapeningsnet (FeB 500 HKN) - 48500 kg
staal: (Cat. 3)
afval: 1.00 %
Transport (gewicht):
Zeeschip 0 km
Binnenvaartschip 0 km
Vrachtwagen (lege retourrit) (standaard) 150 km

Overige geen
materialen:
Bouwplaatsprc Verdichten - met trilbalk - 500 m3 (Cat. 3)
0.00 %
Energie: Energie - Elektriciteit - 4000 kWh (Cat. 3)

impact (procentueel)

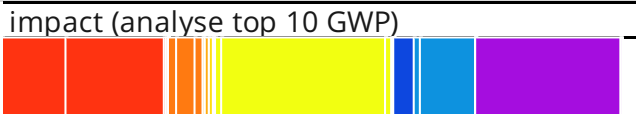


impact (fasen)	Productie (A1-A3)	Transport naar de bouwplaats (A4)	Processen op de Sloop (C1) bouwplaats (A5)	Afvalverwerking einde levenscyclus (C2-C4)	Module D
abiotic depletion, non fuel (AD)	1.21E-1	3.07E-3	7.62E-3	6.54E-2	-1.59E-3
abiotic depletion, fuel (AD)	2.46E+2	2.17E+1	3.73E+2	2.60E+2	-3.11E+2
global warming (GWP)	8.13E+4	3.29E+3	7.01E+4	3.31E+4	-5.66E+4
ozone layer depletion (ODP)	3.07E-3	5.04E-4	2.04E-4	3.69E-3	-4.58E-5
photochemical oxidation (POCP)	3.03E+1	2.28E+0	2.22E+1	2.09E+1	-1.86E+1
acidification (AP)	3.43E+2	1.86E+1	8.40E+1	1.59E+2	-6.75E+1
eutrophication (EP)	5.16E+1	4.38E+0	1.58E+1	2.94E+1	-1.23E+1
human toxicity (HT)	1.16E+4	7.07E+2	1.48E+3	2.45E+4	-3.84E+2
Ecotoxicity, fresh water (FAETP)	2.62E+2	3.84E+1	5.62E+1	8.93E+2	-2.48E+1
Ecotoxicity, marine water (MAETP)	2.30E+6	1.61E+5	2.62E+5	2.40E+6	-3.83E+4
Ecotoxicity, terrestic (TETP)	1.39E+2	6.49E+0	1.19E+2	3.29E+3	-6.11E+1
Energy, primary (MJ)	9.11E+5	5.02E+4	9.08E+5	6.46E+5	-7.26E+5
Energy, primary, renewable (MJ)	5.14E+4	2.89E+2	4.00E+4	2.29E+4	-3.64E+2
Energy, primary, non-renewable (MJ)	8.60E+5	4.99E+4	8.68E+5	6.24E+5	-7.26E+5
Waste, hazardous (kg)	1.47E+4	6.36E+2	7.42E+3	8.17E+4	-9.84E+2
Waste, non hazardous (kg)	1.72E+3	2.29E+2	4.63E+2	8.69E+4	-2.89E+1
Water, fresh water use	2.85E+4	1.67E+3	5.63E+3	1.18E+5	-9.34E+2
MKI	7.29E+3	3.68E+2	4.25E+3	5.30E+3	-3.34E+3



MKI totaal (in €): 13876.06

%	waarde	component	fase
25.02	3955.71	afvalproces Wapeningsnet (FeB 500 HKN)	C3
23.41	3701.35	Wapeningsnet (FeB 500 HKN)	A5
18.77	2967.15	CEM III-B NL	A1
11.35	1793.86	CEM-I NL	A1
6.05	956.35	transport Grind, rivier (NL)	A2
5.9	933.55	transport afvalverwerking beton	C2
3.02	477.30	transport Betonzand (NL)	A2
2.35	370.81	transport CEM III-B NL	A2
2.32	366.14	afvalverwerking beton	C3
1.83	288.64	Energie - Diesel	A3



GWP totaal (in (kg CO2 eq): 131140.46

%	waarde	component	fase
36.086	294192376E+4	Wapeningsnet (FeB 500 HKN)	A5
21.723	789188489E+4	CEM III-B NL	A1
13.9	2.424924190E+4	CEM-I NL	A1
12.5	2.181663925E+4	afvalproces Wapeningsnet (FeB 500 HKN)	C3
4.57	7.968019190E+3	transport afvalverwerking beton	C2
4.09	7.132287418E+3	transport Grind, rivier (NL)	A2
2.01	3.511725586E+3	transport Betonzand (NL)	A2
1.81	3.164932491E+3	transport CEM III-B NL	A2
1.66	2.904724320E+3	Energie - Elektriciteit	A5
1.65	2.885925666E+3	afvalverwerking beton	C3

**BIJLAGE 2.7: OUTPUTGEGEVENS BEREKENINGEN ‘CUR-ONTWERPTOOL
GROEN BETON’**

Tabel 1

CO₂-uitstoot betonmortels met verschillende cementtypes

Besturingselement	Outputfase	Gem. betonmortel	CEM I	CEM II	CEM III/a	CEM III/b	CEM V
Betongranulaat, grof	A1	0,04					
Betonzand (NL)	A1	1,91	1,94	1,94	1,94	1,94	1,94
Cement	A1	124,28	261,40	191,29	141,30	95,25	163,92
Grind, rivier (NL)	A1	1,97	2,03	2,03	2,03	2,03	2,03
Leidingwater	A1	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
Poederkoolvliegias	A1	0,02					
transport Betongranulaat, grof	A2	0,16					
transport Betonzand (NL)	A2	7,02	7,14	7,14	7,14	7,14	7,14
transport CEM III-B NL	A2	6,33					
transport CEM-I NL	A2	1,48	7,96	7,96	7,96	7,96	7,96
transport Grind, rivier (NL)	A2	14,26	14,64	14,64	14,64	14,64	14,64
transport Poederkoolvliegias	A2	0,12					
Energie - Diesel	A3	3,29	3,29	3,29	3,29	3,29	3,29
Energie - Elektriciteit	A3	1,63	1,63	1,63	1,63	1,63	1,63
transport Bekisting - multiplex	A4	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
transport Bekisting - vurenhout	A4	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
transport bouwplaats	A4	4,56	4,56	4,56	4,56	4,56	4,56
transport Ontkistingsmiddel, emulsie	A4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
transport Wapeningsnet (FeB 500 HKN)	A4	1,97	1,97	1,97	1,97	1,97	1,97
Bekisting - multiplex	A5	5,61	5,61	5,61	5,61	5,61	5,61
Bekisting - vurenhout	A5	2,83	2,83	2,83	2,83	2,83	2,83
Energie - Elektriciteit	A5	5,81	5,81	5,81	5,81	5,81	5,81
Ontkistingsmiddel, emulsie	A5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Verdichten - met trilbalk	A5	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Wapeningsnet (FeB 500 HKN)	A5	125,88	125,88	125,88	125,88	125,88	125,88
transport afvalverwerking Bekisting - multiplex	C2	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
transport afvalverwerking Bekisting - vurenhout	C2	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
transport afvalverwerking beton	C2	15,94	15,94	15,94	15,94	15,94	15,94
transport afvalverwerking Wapeningsnet (FeB 500 HKN)	C2	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69
afvalproces Bekisting - multiplex	C3	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
afvalproces Bekisting - vurenhout	C3	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
afvalproces Wapeningsnet (FeB 500 HKN)	C3	43,63	43,63	43,63	43,63	43,63	43,63
afvalverwerking beton	C3	5,77	5,77	5,77	5,77	5,77	5,77
Bekisting - multiplex	D	-0,69	-0,69	-0,69	-0,69	-0,69	-0,69
Bekisting - vurenhout	D	-0,69	-0,69	-0,69	-0,69	-0,69	-0,69
Wapeningsnet (FeB 500 HKN)	D	-111,77	-111,77	-111,77	-111,77	-111,77	-111,77
TOTAAL		262,28	399,77	329,66	279,67	233,63	302,30

Opmerking: waarden in kg CO₂/m³ betonmortel, output berekening CUR-Ontwerp tool 'Groen Beton'

BIJLAGE 4: DE INVLOED VAN HET VERKORTEN VAN DE ONTKISTINGSTIJD

1. VERSCHIL IN ONTKISTINGSTIJD

1.1. BASISGEGEVENS

De gegevens zijn afkomstig uit de tabellenbijlage van het boek basiskennis beton (Cement&BetonCentrum, 2016). Deze gegevens zijn weergegeven in Tabel 1 en 2. In de tabellen is de ontlastingstijd in dagen weergegeven bij een lage, normale en snelle beginsterkte.

Tabel 1

Aantal verhardingsdagen vóór ontlasten bij gebruik van cement met een normale en snelle beginsterkte

Sterkteklasse van het cement	Verhardingstijd		
	Zijbekisting van balken, wanden en kolommen	Onderbekisting van vloeren en balken	
		Overspanning < 3 m	Overspanning > 3 m
32,5 N en R	3	8	20
42,5 N en R	2	5	10
52,5 N en R	1	3	6

Opmerking: Gegevens afkomstig van *Tabellen en grafieken bijlage bij Basiskennis Beton* (tabel 17 en 18, p.13) door Cement&BetonCentrum, 2016, 's-Hertogenbosch: Aeneas, Copyright 2016, Aeneas Media

Tabel 2

Aantal verhardingsdagen vóór ontlasten bij gebruik van hoogovencement met lage beginsterkte

Sterkteklasse hoogovencement met een lage beginsterkte	Verhardingstijd		
	Zijbekisting van balken, wanden en kolommen	Onderbekisting van vloeren en balken	
		Overspanning < 3 m	Overspanning > 3 m
32,5 L	4	10	30
42,5 L	3	8	20
52,5 L	2	5	10

Opmerking: Gegevens afkomstig van *Tabellen en grafieken bijlage bij Basiskennis Beton* (tabel 17 en 18, p.13) door Cement&BetonCentrum, 2016, 's-Hertogenbosch: Aeneas, Copyright 2016, Aeneas Media

1.2. VERSCHILLEN

Aan de hand van de gegevens uit Tabel 1 en 2 is Tabel 3 opgesteld waarin het verschil in verhardingsdagen tussen cement met een normale en snelle beginsterkte, en hoogovencement met lage beginsterkte is te zien.

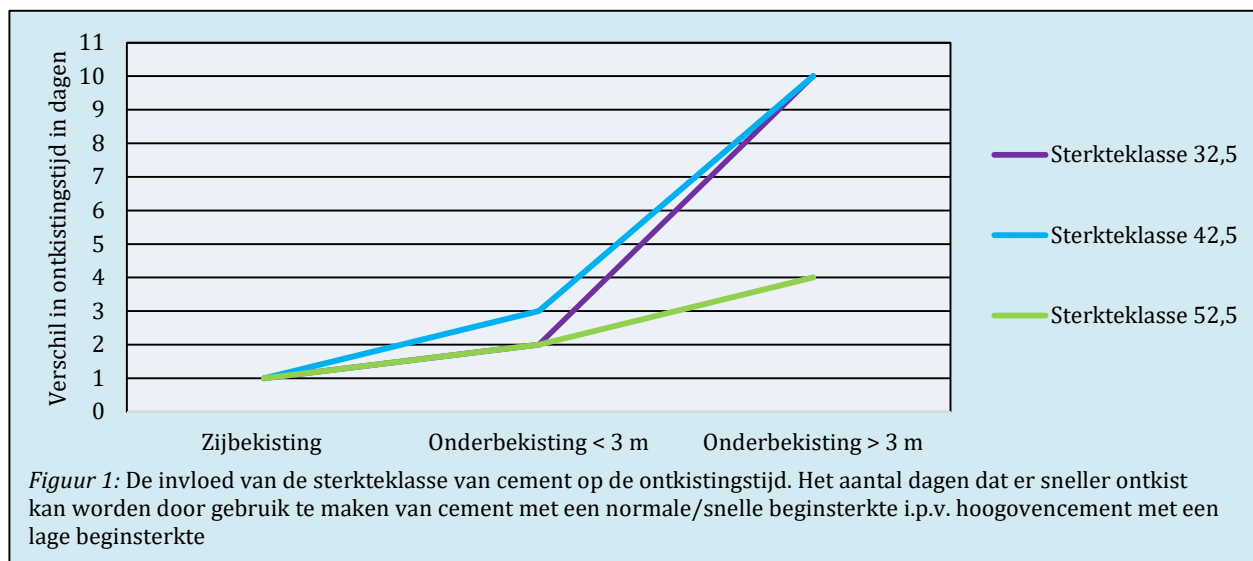
Tabel 3

Het verschil in verhardingsdagen tussen cement met een normale en snelle beginsterkte en hoogovencement met lage beginsterkte

Sterkteklasse hoogovencement met een lage beginsterkte	Verhardingstijd		
	Zijbekisting van balken, wanden en kolommen	Onderbekisting van vloeren en balken	
		Overspanning < 3 m	Overspanning > 3 m
32,5 L	1	2	10
42,5 L	1	3	10
52,5 L	1	2	4

Opmerking: Gegevens opgesteld op basis van van *Tabellen en grafieken bijlage bij Basiskennis Beton* (tabel 17 en 18, p.13) door Cement&BetonCentrum, 2016, 's-Hertogenbosch: Aeneas, Copyright 2016, Aeneas Media

Met de gegevens uit Tabel 3 kan Figuur 1 gemaakt worden. Daarin is te zien dat er een wezenlijk verschil is in ontkistingstijd bij het gebruik van verschillende cementen met een hoge, gemiddelde of lage beginsterkte. Voornamelijk bij grotere overspanningen levert dit een groot verschil op.



Opmerking: Eigen figuur, Opgesteld op basis van gegevens uit tabel 3.

1.3. INVLOED OP CO₂-UITSTOOT

Het toepassen van cement met een hoge beginsterkte (CEM I) heeft grote gevolgen voor de CO₂-uitstoot. In Tabel 4 is het verschil in uitstoot van de verschillende cementtypen te zien.

Tabel 4

CO₂-uitstoot cement bij variatie in cementtype

Cementtype	Betonmortel [kg CO ₂ /m ³]	% t.o.v. basis
Gemiddelde betonmortel (<i>basis</i>)	132,09	100%
CEM I	269,35	204%
CEM II/b-v	199,24	151%
CEM III/a	149,25	113%
CEM III/b	103,21	78%
CEM V	171,88	130%

Opmerking: eigen berekening m.b.v. 'CUR-Ontwerptool Groen Beton', basis = gemiddelde betonmortel, gemiddelde betonmortel overgenomen uit *Update prioritering handelingsperspectieven verduurzaming betonketen 2016* (p. 15) door Marit van Lieshout en Sanne Nusselder, november 2016, Delft: CE-Delft, Copyright 2016.

BIJLAGE 5: SCHEMA BEVINDINGEN VAN HET ONDERZOEK

